

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**FARKLI KURUTMA YÖNTEMLERİNİN GİLABURU
(*Viburnum opulus* L.) MEYVESİNİN KURUTMA
KARAKTERİSTİKLERİNE VE BİYOKİMYASAL
İÇERİĞİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ VE
KURUTULMUŞ ÜRÜNLERİN GÖRÜNTÜ İŞLEME VE
MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE SINIFLANDIRILMASI**

**Hazırlayan
Seda GÜNAYDIN**

**Danışman
Prof. Dr. Cevdet SAĞLAM**

Doktora Tezi

**KASIM 2024
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**FARKLI KURUTMA YÖNTEMLERİNİN GİLABURU
(*Viburnum opulus* L.) MEYVESİNİN KURUTMA
KARAKTERİSTİKLERİNE VE BİYOKİMYASAL
İÇERİĞİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ VE
KURUTULMUŞ ÜRÜNLERİN GÖRÜNTÜ İŞLEME VE
MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE SINIFLANDIRILMASI
(Doktora Tezi)**

**Hazırlayan
Seda GÜNAYDIN**

**Danışman
Prof. Dr. Cevdet SAĞLAM**

**Bu çalışma, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi
tarafından FDK-2022-12392 kodlu proje ile desteklenmiştir.**

**Kasım 2024
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Seda GÜNAYDIN

İmza

“Farklı Kurutma Yöntemlerinin Gilaburu (*Viburnum opulus* L.) Meyvesinin Kurutma Karakteristiklerine ve Biyokimyasal İçeriğine Etkisinin Belirlenmesi ve Kurutulmuş Ürünlerin Görüntü İşleme ve Makine Öğrenmesi ile Sınıflandırılması” adlı Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Seda GÜNAYDIN

İmza

Danışman

Prof. Dr. Cevdet SAĞLAM

İmza

Biyosistem Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Sinan GERÇEK

İmza

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım süresince her türlü yardımı ve motivasyonu sağlayan danışman hocam Prof. Dr. Cevdet SAĞLAM'a, akademik bilgi ve tecrübeleriyle her zaman yol gösterici olan, araştırma konusunun belirlenmesinden araştırma bulguları elde edilinceye kadar her aşamada her zaman yardımcı olan ve her daim örnek aldığım çok değerli hocam Doç. Dr. Necati ÇETİN'e, kıymetli vakitlerini bana ayıran ve akademik gelişimimde kıymetli katkılar sağlayan tez savunma jüri üyelerim, saygıdeğer hocalarım; Prof. Dr. Kâmil SAÇILIK'a, Prof. Dr. İlknur ALİBAŞ'a, Doç. Dr. Kevser KARAMAN'a, Doç. Dr. Bahadır DEMİREL'e sonsuz teşekkür ederim.

Hayatım boyunca aldığım her kararda en büyük destekçim olan, benim için her türlü fedakârlığı yapan fakat kısa süre önce kaybettiğim canım babam Hüsnü GÜNAYDIN'a, bu zorlu süreçte her koşulda yanımda olan anneme ve ablama, son olarak tez çalışmalarım süresince yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen arkadaşlarıma teşekkürü borç bilirim.

Seda GÜNAYDIN

Kasım 2024, KAYSERİ

FARKLI KURUTMA YÖNTEMLERİNİN GİLABURU (*Viburnum opulus* L.) MEYVESİNİN KURUTMA KARAKTERİSTİKLERİNE VE BİYOKİMYASAL İÇERİĞİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ VE KURUTULMUŞ ÜRÜNLERİN GÖRÜNTÜ İŞLEME VE MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE SINIFLANDIRILMASI

Seda GÜNAYDIN

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Doktora Tezi, Kasım 2024

Danışman: Prof. Dr. Cevdet SAĞLAM

İkinci Danışman: Doç. Dr. Necati ÇETİN

ÖZET

Bu tez çalışmasında, kütlesi $50,00 \pm 0,03$ g ve başlangıç nem içeriği $4,959 \pm 0,002$ kg_{su} kg_{KM}⁻¹ (%83,22 $\pm$ 0,05 y.b.) olarak belirlenen gilaburu meyveleri (*Viburnum opulus* L.) son nem içeriği $0,142 \pm 0,001$ kg_{su} kg_{KM}⁻¹ (%12,57 $\pm$ 0,03 y.b.) olana kadar gölgede, dondurarak, konvektif, vakumlu, mikrodalga ve hibrit kurutma yöntemleri ile kurutulmuştur. Kurutma verileri literatürdeki 12 farklı kurutma eşitliği ile modellenmiştir. Renk değişiminin en az (10,93) olduğu yöntemin 80 °C+ 400 mmHg'de vakumlu kurutma olduğu saptanmıştır. Tüm kurutma yöntemleri içerisinde mineraller açısından en iyi sonuçlar fosfor (P), kükürt (S), sodyum (Na), magnezyum (Mg) ve çinko (Zn) için hibrit kurutmada; bakır (Cu), manganez (Mn) ve kalsiyum (Ca) için vakumlu kurutmada; demir (Fe) ve potasyum (K) için konvektif kurutmada elde edilmiştir. En yüksek askorbik asit (2,74 mg g⁻¹), toplam fenolik (40,28 mg GAE g⁻¹), antioksidan (DPPH %35,31, ABTS^{•+} 70,82 µg TE g⁻¹) hibrit kurutmada, en yüksek antosiyanin içeriği (109,53 mg kg⁻¹) dondurarak kurutulmuş örneklerde ölçülmüştür. Enerji tüketiminin en fazla olduğu yöntemin (10,08 kWh) dondurarak kurutma, en az olduğu yöntemin mikrodalga kurutma (0,71 kWh) olduğu saptanmıştır. En yüksek rehidrasyon oranı dondurarak kurutulmuş ürünlerde, en yüksek büzülme oranı ise hibrit kurutma tekniği ile kurutulmuş ürünlerde ölçülmüştür. Geleneksel yöntemlerle kurutulmuş gilaburu örneklerinin renk kanallarına göre sınıflandırılmasında en başarılı makine öğrenmesi algoritmasının RF (%75,63), hibrit yöntemlerle kurutmada en başarılı makine öğrenmesi algoritmasının SVM (%69,00) olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gilaburu, Kurutma, Biyoaktivite, Enerji, Besin Elementi, Makine Öğrenmesi, Görüntü İşleme, Renk

**DETERMINATION OF THE IMPACT OF VARIOUS DRYING TECHNIQUES
ON THE BIOCHEMICAL CONTENT AND DRYING CHARACTERISTICS OF
GİLABURU (*Viburnum opulus* L.) FRUIT AND CLASSIFYING DRIED
PRODUCTS VIA IMAGE PROCESSING AND MACHINE LEARNING**

Seda GÜNAYDIN

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

PhD Thesis, November 2024

Supervisor: Prof. Dr. Cevdet SAĞLAM

Second Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Necati ÇETİN

ABSTRACT

In the present study, viburnum fruits (*Viburnum opulus* L.) were dried, weighing $50,00 \pm 0,03$ g, with an initial moisture content of $4,959 \pm 0,002$ kg_{water} kg_{DM}⁻¹ (83,22% $\pm$ 0,05 w.b.), utilizing shade, freeze, convective, vacuum, microwave, and hybrid drying methods until achieving a final moisture content of $0,142 \pm 0,001$ kg_{water} kg_{DM}⁻¹ (12,57% $\pm$ 0,03 w.b.). The findings were modeled using 12 different drying equations from the literature. It has been determined that the method with the least color change (10,93) is the vacuum drying technique at 80 °C + 400 mmHg. For phosphorus (P), sulfur (S), sodium (Na), magnesium (Mg), and zinc (Zn) content, hybrid drying was best; for copper (Cu), manganese (Mn), and calcium (Ca), vacuum drying was best; and for iron (Fe) and potassium (K), convective drying was best. The highest vitamin C (2,74 mg g⁻¹), total phenolic (40,28 mg GAE g⁻¹), antioxidant (DPPH %35,31, ABTS⁺ 70,82 µg TE g⁻¹) were measured in hybrid drying, and the highest anthocyanin content (109,53 mg kg⁻¹) was measured in freeze-dried samples. The maximum energy use is 10,08 kWh for freeze-drying, whereas microwave drying only 0,71 kWh. Product shrinkage was highest in hybrid-dried items and rehydration was highest in freeze-dried products. RF (75,63%) was the most successful artificial intelligence system for traditional viburnum sample color channel classification, whereas SVM (69,00%) was the most effective in hybrid drying methods.

Keywords: Gilaburu, Drying, Bioactivity, Energy, Nutrient, Machine Learning, Image Processing, Color

İÇİNDEKİLER

FARKLI KURUTMA YÖNTEMLERİNİN GİLABURU (*Viburnum opulus* L.) MEYVESİNİN KURUTMA KARAKTERİSTİKLERİNE VE BİYOKİMYASAL İÇERİĞİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ VE KURUTULMUŞ ÜRÜNLERİN GÖRÜNTÜ İŞLEME VE MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE SINIFLANDIRILMASI

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
KABUL VE ONAY.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR ve SİMGELER.....	xii
TABLolar LİSTESİ	xv
ŞEKİLLER LİSTESİ	xvi
GİRİŞ	1

1.BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Tarımsal Ürünleri Kurutma Yöntemleri.....	5
1.1.1. Gölgede Kurutma Yöntemi.....	5
1.1.2. Güneşte Kurutma Yöntemi.....	6
1.1.3. Konvektif Kurutma Yöntemi.....	6
1.1.4. Mikrodalga Kurutma Yöntemi.....	7
1.1.5. Hibrit Kurutma Yöntemi	8
1.1.6. Dondurarak Kurutma Yöntemi	8
1.1.7. Vakumlu Kurutma Yöntemi.....	9
1.2. Kurutmada Matematiksel Modelleme	9

1.3. Görüntü İşleme ve Makine Öğrenmesi	10
1.4. Literatür Özetleri	12
1.5. Problem Durumu	19
1.6. Araştırmanın Amacı	19
1.7. Araştırmanın Önemi	20

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Materyal	22
2.2. Çalışmada Kullanılan Kurutucu Ekipmanlar ve Cihazlar	23
2.2.1. Mikrodalga ve Konvektif Kurutucu	23
2.2.2. Vakumlu Kurutucu	24
2.2.3. Liyofilizatör	25
2.2.4. Etüv	25
2.2.5. Hassas Terazî	26
2.2.6. Renk Ölçer	26
2.2.7. Spektrofotometre	27
2.2.8. ICP-MS Analiz Cihazı	28
2.2.9. Santrifüj Cihazı	28
2.2.10. Çalkalayıcı	29
2.2.11. Vorteks Cihazı	29
2.2.12. Refraktometre ve Katı Meyve Sıkacağı	30
2.2.13. pHmetre	30
2.2.14. Kumpas	31
2.2.15. Öğütücü	31
2.3. Yöntem	32
2.3.1. Kurutma Yöntemleri	32
2.3.2. Nem İçeriğinin Belirlenmesi	33
2.3.3. Ayrılabilir Nem Oranının Hesaplanması (MR)	34

2.3.4. Kuruma Hızının Hesaplanması	34
2.3.5. Veri Analizi.....	34
2.3.6. Renk Ölçüm Yöntemi	36
2.3.7. Görüntülerin İşleme ve Makine Öğrenmesi.....	38
2.3.8. Biyokimyasal Özelliklerin Belirlenmesi.....	40
2.3.8.1. Ekstraksiyon İşlemi.....	40
2.3.8.2. Toplam Antosiyanin Madde Miktarının Belirlenmesi.....	43
2.3.8.3. C Vitamini Analizi.....	43
2.3.8.4. Toplam Fenolik Madde Miktarının Belirlenmesi	44
2.3.8.5. Antioksidan Kapasitesinin Belirlenmesi	44
2.3.8.6. Makro ve Mikro Besin Elementi Analizleri.....	45
2.3.9. Rehidrasyon Kapasitesinin Belirlenmesi	46
2.3.10. Büzülme Oranı	46
2.3.11. pH ve Suda Çözünen Kuru Madde Miktarı (°Briks)	46
2.3.12. Enerji Analizleri.....	47
2.3.12.1. Enerji Tüketimi ve Özgül Enerji Tüketimi	47
2.3.12.2. Termal Etkinlik ve Enerji Etkinliği.....	47

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1. Kurutma Kinetiği ve Matematiksel Modelleme	49
3.2. Kuruma Hızının Zaman Göre Değişimi.....	52
3.3. Gilaburu Meyvelerinin Kuruma Eğrilerinin Matematiksel Modellemesi.....	58
3.4. Renk Parametreleri, Kahverengileşme İndeksi ve Toplam Renk Değişimi	68
3.5. Enerji Analizleri	73
3.6. Rehidrasyon Kapasitesi ve Büzülme Oranı	73
3.7. pH ve Suda Çözünen Kuru Madde Miktarı (°Briks).....	75
3.8. Makro ve Mikro Besin Elementi Konsantrasyonu	77
3.9. Askorbik Asit (C Vitamini) İçeriği	81

3.10. Toplam Fenolik Madde Miktarı	84
3.11. Antioksidan Kapasitesi	86
3.12. Antosiyanin Konsantrasyonu	89
3.13. Görüntü İşleme ve Makine Öğrenmesi	91
3.13.1. Farklı Tekniklerle Kurutulmuş Gilaburu Meyvelerinin Tüm Renk Kanallarına Göre Sınıflandırılması	91
3.13.2. Geleneksel ve Hibrit Yöntemlerle Kurutulmuş Gilaburuların Renk Kanallarına Göre Performans Metrikleri	97

4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1. Tartışma	100
4.2. Sonuç ve Öneriler	108
KAYNAKÇA	115
ÖZGEÇMİŞ	141

KISALTMALAR VE SİMGELER

M_t	: t anındaki nem içeriği ($\text{kg}_{\text{su}} \text{kg}_{\text{KM}}^{-1}$)
M_{t+dt}	: $t+dt$ anındaki nem muhtevası ($\text{kg}_{\text{su}} \text{kg}_{\text{KM}}^{-1}$)
N	: Toplam gözlem sayısı
DR	: Kuruma hızı ($\text{kg}_{\text{su}} \text{kg}_{\text{KM}}^{-1} \text{dk}^{-1}$)
MR	: Ayrılabilir nem oranı (%)
OKH	: Ortalama kuruma hızı ($\text{kg}_{\text{su}} \text{kg}_{\text{KM}}^{-1} \text{dk}^{-1}$)
ÖET	: Özgül enerji tüketimi ($\text{kWh kg}_{\text{su}}^{-1}$)
kg	: Kilogram, kütle
KS	: Kuruma süresi, dk
KK	: Kurutma koşulu
M_{y0}	: Ürünün yaş baza göre nem içeriği (%)
M_{k0}	: Ürünün kuru baza göre nem içeriği ($\text{kg}_{\text{su}} \text{kg}_{\text{KM}}^{-1}$)
m_1	: m_1 kurutma öncesi ürün ağırlığı
m_2	: m_1 kurutma sonrası ürün ağırlığı
S	: Büzülme oranı
V_s	: Örneğin kurutma sonrası hacmi (mm^3)
V_0	: Örneğin kurutma öncesi hacmi (mm^3)
FN	: Yanlış negatif sayı
FP	: Yanlış pozitif sayı
TN	: Doğru negatif sayı
TP	: Doğru pozitif sayı
m_w	: Buharlaştıran su kütlesi
E_c	: Toplam enerji tüketimi (kWh)
SH	: Standart hata
TSH	: Tahmini standart hata
TET	: Toplam enerji tüketimi (kWh)
RR	: Rehidrasyon kapasitesi
ΔE	: Toplam renk değişimi
BI	: Kahverengileşme indeksi
RF	: Rastgele orman

DT	: Karar ağacı
LMT	: Lojistik model ağacı
MLP	: Çok katmanlı algılayıcı yapay sinir ağı
k-NN	: k-En Yakın Komşu
LDA	: Lineer diskriminant analizi
BAG	: Torbalama
SVM	: Destek vektör makinesi
NB	: Naïve bayes
A_c	: Doğruluk
TPR	: Doğru pozitif oranı
FPR	: Yanlış pozitif oranı
P	: Kesinlik
F	: F-Ölçütü
MCC	: Matthews korelasyon katsayısı
ROC	: Alıcı işlem karakteristiği alanı
PRC	: Kesinlik-duyarlılık alanı
ÖNÇÖ	: Özgül nem çekme oranı (kg kWh^{-1})
η_{en}	: Enerji etkinlik oranı (%)
η_{th}	: Termal etkinlik oranı (%)
L^*	: Parlaklık/koyuluk
a^*	: Kırmızılık/yeşillik
b^*	: Sarılık/mavilik
C	: Kroma
BI	: Kahverengileşme indeksi
ΔE	: Toplam renk değişimi
N	: Azot
Zn	: Çinko
Fe	: Demir
Ca	: Kalsiyum
P	: Fosfor
Cu	: Bakır
Mg	: Magnezyum
Mn	: Manganez

K	: Potasyum
Na	: Sodyum
H ₂ O ₂	: Hidrojen peroksit
HNO ₃	: Nitrik asit
NaH ₂ PO ₄	: Disodyum fosfat
Na ₂ CO ₃	: Sodyum karbonat
ΔA	: Absorbans farkı
ϵ	: Molar absorbans
MW	: Molekül ağırlığı
SF	: Seyreltme faktörü
L	: Absorbans ölçüm küvetinin tabaka kalınlığı
DPPH	: 2,2- Diphenyl-1-picrylhydrazyl
TEAC	: Troloks eşdeğer antiradikal kapasite

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1.	Gilaburu meyvelerinin kurutulmasında kullanılan matematiksel modeller	35
Tablo 3.1.	70 °C ve 80 °C’de konvektif kurutma için istatistiksel parametreler.....	63
Tablo 3.2.	90 °C ve 100 W’da kurutma için istatistiksel parametreler	64
Tablo 3.3.	70 °C +100 W ve 80 °C +100 W’da hibrit kurutma için istatistiksel parametreler	65
Tablo 3.4.	100 W + 90 °C ve 80 °C+ 200 mmHg’de kurutma için istatistiksel parametreler	66
Tablo 3.5.	80 °C+ 400 mmHg’de vakumlu ve gölgede kurutma için istatistiksel parametreler	67
Tablo 3.6.	Taze ve kurutulmuş gilaburu meyvelerinin renk parametreleri.....	71
Tablo 3.7.	Enerji analizleri	73
Tablo 3.8.	Rehidrasyon kapasitesi ve büzülme oranı.....	75
Tablo 3.9.	pH ve Brix° değerleri	77
Tablo 3.10.	Gilaburu meyvelerinin makro besin elementi konsantrasyonu.....	78
Tablo 3.11.	Gilaburu meyvelerinin mikro besin elementi konsantrasyonu	79
Tablo 3.12.	Farklı modeller için geleneksel yöntemlerle kurutulmuş gilaburuların R , G , B , L , a , b , H , S ve V renk kanallarına göre performans metrikleri.....	98
Tablo 3.13.	Farklı modeller için hibrit yöntemlerle kurutulmuş gilaburuların R , G , B , L , a , b , H , S ve V renk kanallarına göre performans metrikleri	99

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Çalışmada kullanılan gilaburu meyvesinin genel görünümü.....	23
Şekil 2.2.	Hibrit Fırın	24
Şekil 2.3.	Vakumlu kurutucu	24
Şekil 2.4.	Liyofilizatör	25
Şekil 2.5.	Etüv	25
Şekil 2.6.	Hassas terazi	26
Şekil 2.7.	Renk ölçer	27
Şekil 2.8.	Spektrofotometre	27
Şekil 2.9.	ICP-MS Cihazı.....	28
Şekil 2.10.	Santrifüj cihazı.....	28
Şekil 2.11.	Çalkalayıcı	29
Şekil 2.12.	Vorteks cihazı	29
Şekil 2.13.	Refraktometre (a), Katı meyve sıkacağı (b).....	30
Şekil 2.14.	pH metre	30
Şekil 2.15.	Kumpas	31
Şekil 2.16.	Öğütücü.....	31
Şekil 2.17.	Gilaburu örneklerinin etüve konulmadan önceki ve sonraki görüntüleri.....	33
Şekil 2.18.	Renk açısı.....	37
Şekil 2.19.	Fotoğraf çekme düzeneği.....	38
Şekil 2.20.	Çalkalama işlemi.....	41
Şekil 2.21.	Santrifüjleme işlemi.....	41
Şekil 2.22.	Çalkalama ve santrifüj işlemi sonrası ekstraktların görünümü.....	42
Şekil 2.23.	Ekstraktları filtreleme işlemi	42
Şekil 2.24.	Filtrasyon sonrası ekstraktların görünümü.....	43
Şekil 3.1.	Konvektif kurutma yöntemi ile kurutulan gilaburu meyvesinin kurutma süresine bağlı kuru baza göre nem içeriği değişimi.....	50
Şekil 3.2.	Mikrodalga ve hibrit kurutma yöntemleri ile kurutulan gilaburu meyvesinin kurutma süresine bağlı kuru baza göre nem içeriği değişimi	50

Şekil 3.3.	Vakumlu kurutma yöntemi ile kurutulan gilaburu meyvesinin kurutma süresine bağlı kuru baza göre nem içeriği değişimi.....	51
Şekil 3.4.	Gölgede kurutma yöntemi ile kurutulan gilaburu meyvesinin kurutma süresine bağlı kuru baza göre nem içeriği değişimi.....	51
Şekil 3.5.	70 °C’de konvektif kurutma tekniği ile kurutulmuş gilaburu meyvelerinin zamana bağlı kuruma hızı değişimi	52
Şekil 3.6.	80 °C’de konvektif kurutma tekniği ile kurutulmuş gilaburu meyvelerinin zamana bağlı kuruma hızı değişimi	53
Şekil 3.7.	90 °C’de konvektif kurutma tekniği ile kurutulmuş gilaburu meyvelerinin zamana bağlı kuruma hızı değişimi	53
Şekil 3.8.	100 W’de mikrodalga kurutma tekniği ile kurutulmuş gilaburu meyvelerinin zamana bağlı kuruma hızı değişimi	54
Şekil 3.9.	100 W + 70 °C’de hibrit kurutma tekniği ile kurutulmuş gilaburu meyvelerinin zamana bağlı kuruma hızı değişimi	54
Şekil 3.10.	100 W + 80 °C’de hibrit kurutma tekniği ile kurutulmuş gilaburu meyvelerinin zamana bağlı kuruma hızı değişimi	55
Şekil 3.11.	100 W+ 90 °C’de hibrit kurutma tekniği ile kurutulmuş gilaburu meyvelerinin zamana bağlı kuruma hızı değişimi	55
Şekil 3.12.	80 °C+400 mmHg’de vakumlu kurutma tekniği ile kurutulmuş gilaburu meyvelerinin zamana bağlı kuruma hızı değişimi	56
Şekil 3.13.	80 °C+200 mmHg’de vakumlu kurutma tekniği ile kurutulmuş gilaburu meyvelerinin zamana bağlı kuruma hızı değişimi	56
Şekil 3.14.	Gölgede kurutma tekniği ile kurutulmuş gilaburu meyvelerinin zamana bağlı kuruma hızı değişimi	57
Şekil 3.15.	Konvektif kurutma yöntemi ile kurutulmuş gilaburu meyvelerinin ayrılabilir nem oranı grafiği.....	59
Şekil 3.16.	Mikrodalga ve hibrit kurutma yöntemi ile kurutulmuş gilaburu meyvelerinin ayrılabilir nem oranı grafiği.....	60
Şekil 3.17.	Vakumlu kurutma yöntemi ile kurutulmuş gilaburu meyvelerinin ayrılabilir nem oranı grafiği.....	60
Şekil 3.18.	Konvektif kurutma yöntemi ile kurutulmuş gilaburu meyvelerinin ayrılabilir nem oranı grafiği.....	61
Şekil 3.19.	Taze ve kurutulmuş gilaburu meyvelerinin görünümü.....	72

Şekil 3.20.	Askorbik asit kalibrasyon eğrisi	82
Şekil 3.21.	Taze ve kurutulmuş gilaburu meyvelerinin askorbik asit içeriği.....	83
Şekil 3.22.	Toplam fenolik madde kalibrasyon eğrisi	85
Şekil 3.23.	Taze ve kurutulmuş gilaburu meyvelerinin toplam fenolik miktarı	85
Şekil 3.24.	Taze ve kurutulmuş gilaburu meyvelerinin antioksidan kapasitesi (DPPH).....	87
Şekil 3.25.	Taze ve kurutulmuş gilaburu meyvelerinin antioksidan kapasitesi (ABTS ⁺)	88
Şekil 3.26.	Taze ve kurutulmuş gilaburu meyvelerinin antosiyanin konsantrasyonu	90
Şekil 3.27.	Tüm renk kanalları için makine öğrenimi sınıflandırma doğruluğu sonuçları (%)	92
Şekil 3.28.	Geleneksel (üstte) ve hibrit (altta) yöntemlerin sınıflandırılmasında önerilen modellere ait karışıklık matrisi	94

GİRİŞ

Gilaburu meyvesi, (*Viburnum opulus* L.) hanımeligiller (*Caprifoliaceae*) ailesinin bir üyesi olup anavatanının Asya, Avrupa ve Kuzey Afrika olduğu bilinmektedir (Kajszczak vd., 2020; Polat vd., 2021). Halk arasında böbrek doktoru olarak bilinen, böbrek taşlarını düşürücü etkisiyle yoğun ilgi gören ve ülkemizde özellikle Kayseri bölgesinde yetiştirilen çiçekli bir bitki türüdür. Gilaburunun yaklaşık 200 türü olup, bunlardan biri de *Viburnum* cinsine aittir (Alifakı vd., 2018; Yıldız ve Ekici, 2019). Gilaburu meyvesinin dekoratif amaçla yetiştiriciliği tüm dünyada yaygın olarak yapılmaktadır (Perova vd., 2014; Zöngür, 2022; Khvorost vd., 2022).

Gilaburu, Aralık-Mart ayları arasında sıra arası mesafeler 3 metre olacak şekilde dikilmektedir. Çoğunlukla sulak alanlarda yetiştirilmeye müsait bir bitkidir. Bitki, hızlı bir şekilde büyüme eğiliminde olup, dikildikten üç yıl sonra meyve vermeye başlamaktadır (Skrypnik, vd., 2021). Bitki boyu 4-5 metreye kadar ulaşabilmektedir. Uzun ömürlü olan bitki, dip kısımlarda oluşan sürgünler sayesinde üç yüz yıl boyunca dayanıklılığını sürdürme özelliğine sahiptir. Kartopu çalısı olarak adlandırılan çalı formundaki bitki, kış aylarında yapraklarını dökmektedir. Koyu yeşil yapraklar sonbahar aylarında kırmızıya dönüşmektedir. Çiçeklenme dönemi Mayıs-Haziran, meyvelerin hasat zamanı Ekim-Kasım aylarıdır (Özrenk vd., 2011). Gilaburu bitkisi karasal iklimin görüldüğü bölgelerde, orman yamaçlarında ve kırsal bölgelerde kendiliğinden yetişebilmektedir. Ek bir sulanma ve bakıma ihtiyaç duymamaktadır. Küçük yuvarlak formdaki meyveler salkım şeklinde ve parlak kırmızı renktedir. Meyvenin içinde bir adet kalp şeklinde sert çekirdek bulunmaktadır (Yanardağ Karabulut ve Kaynarca, 2024). Ülkemizde halk arasında gilaburu isminin yanı sıra Gilabolu, Giligili, Girebolu, Gileboru, Gilaboru, Girabolu, Avrupada ise “European highbush cranberry, European cranberry bush, Cranberry tree, Cherry-wood, Snowball tree, Dog berry, Dog-eller, Marsh elder, Marsh viburnum, High bush cranberry, King’s crown, Parnell, Witch hobbleand, White-wood tree, White elder, Whipcrop, White dogwood, Trash berry, Rose elder, Red elder,

Skawdower, May rose, Stink tree, Cramp Bark, Snowball Bush, GuelderRose, Stagbush gibi isimlerle bilinmektedir (Çemtekin, vd., 2019; Güleşci, 2019).

Bünyesinde bol miktarda organik asit, fenolik madde, makro-mikro besin elementleri (P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu ve Mn), meyveye has tadı veren valerik asit, organik şekerler ve A, E ve C vitaminlerini barındırmaktadır (Çanga ve Dudak, 2019; Dinç vd., 2012; Stuper-Szablewska, 2023). Buna ilaveten, β -karoten ve likopen içeriği oldukça yüksektir (Boyacı vd., 2016). Ayrıca, gilaburu çekirdeğinde yağ asitleri ve aminoasitler bol miktarda bulunmaktadır (Yunusova vd., 2004). Yüksek polifenol ve tanen içeriğinden ötürü ransit (acımsı) bir tada sahip olan gilaburu meyvesinin taze olarak tüketilmesi oldukça zordur. Bu sebepten ötürü çoğunlukla fermente edildikten sonra suyu sıkılarak içilmekte, reçel ve marmelatı yapılmakta, turşu, sirke yapılarak ya da gilaburu şekeri elde edilerek tüketilmektedir (Zakłó-Szyda vd., 2020; Skrypnik vd., 2021; Samilyk vd., 2022;). Öte yandan, özellikle Rusya, Ukrayna ve Sibirya’da Gilaburu meyveleri konserve şeklinde veya “Kalinnikov” olarak adlandırılan gilaburulu turtalardan pişirilerek tüketilmektedir (Polka vd., 2019). Bunun yanı sıra, kozmetik ürünlerin elde edilmesinde gilaburudan yararlanılmaktadır (Taşkın vd., 2019; Khvorost vd., 2022). Meyve çekirdeklerinin besleyici kalite özellikleri oldukça yüksek olup, gilaburu çekirdeklerinin posası, hayvan gübresi olarak kullanılmaktadır (Cam vd., 2007; Zöngür, 2022).

Gilaburu meyvesinin böbrek taşlarını düşürücü ve karaciğer hastalıklarına karşı koruyucu etkisi bulunmaktadır (Yang vd., 2011). Ayrıca kardiyolojik rahatsızlıkların iyileşmesine katkı sağlamaktadır (Van vd., 2009). Buna ilaveten, gilaburu meyvesi kanseri önlemekte (Çam, 2005), kas spazmlarını azaltmakta (Yıldız ve Ekici, 2019), kan basıncını dengelemekte (Bujor, 2020), sindirim sistemini kuvvetlendirmekte (Kajszczak vd., 2020), dermatolojik rahatsızlıklara iyi gelmekte, boğaz tahrişini azaltmakta (Zayachkivska vd., 2006) ve vücuttaki enfeksiyonu gidermektedir (Aksoy vd., 2004). Gilaburu içerdiği güçlü antioksidanlar ile son yıllarda Amerika ve İngiltere’de dikkat çeken meyve durumundadır. Bu konuyla ilgili olarak yürütülen bir çalışmada, her gün en az 250 ml gilaburu suyu içilmesinin vücudun çeşitli yerlerinde oluşan tümörleri azalttığı, kalp damar hastalıklarına karşı koruyucu olduğu, kas gevşetici ve idrar söktürücü etkisinin bulunduğu kanıtlanmıştır (Zarifikhosroshahi ve Kafkas, 2018).

Taze meyveler ve sebzeler hasat edildikten sonra solunum aktiviteleri bir süre devam etmektedir. Yüksek nem içeriğinden ötürü taze gilaburu meyvesi hasat işleminden kısa bir müddet sonra bozulma ve çürüme eğilimine girmektedir (Zia, 2019). Ürünlerdeki yüksek orandaki su içeriği, maya ve bakteri oluşmasına yol açarak ürünlerin kısa sürede bozulmasına ve çürümesine yol açmaktadır. Bu durum, ürünlerin besin değerini kaybetmesine sebebiyet vermektedir (Zhang ve Jiang, 2021). Ayrıca ticari anlamda da ciddi derecede ürün hasarına ve kaybına neden olmaktadır. Bu sebeple ürünlerin uzun süre dayanıklılığını sürdürebileceği şekilde depolanması gerekmektedir. Hasat sonrası kayıpların azaltılmasının en etkili yolu kurutarak muhafazadır (Chaturvedi vd., 2019).



1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Taze meyvelerin ve sebzelerin biyokimyasal, fiziksel ve mikrobiyolojik açıdan raf ömrünü artırmak amacıyla geçmişten günümüze pek çok muhafaza tekniği geliştirilmiştir. Bunların en önemlilerinden birisi de kurutma işlemidir. Kurutma tekniğinde, bakteri, maya ve mikro küflerin büyümesine ortam hazırlayan yüksek nem içeriği belirli bir referans değerine kadar düşürülmektedir (Geethu vd., 2023; Tabaszewska vd., 2023; Mustafa ve Chin, 2023). Kurutma işlemi esas olarak ısı ve kütle transferinin aynı anda gerçekleşmesi durumudur. Isı transferi süresince ürünler kurutucu içerisinde ısıtılmaktadır. Ardından kütle transferi başlamakta, bu aşamada da meyve ve sebzelerin en dış katmanında ince bir katman olan nem buharlaşarak, ürün merkezinden dış kısımlarına doğru nem göçü başlamaktadır (Yağcıoğlu, 1999; Mohammadi vd., 2019).

Nem içeriği yoğun olan kurutma materyallerinin, koşulların hazırlandığı ortama yerleştirilmesi sonucu ürün ile çevresi arasında nem transferi meydana gelmektedir. Bu nem transferi sonucunda meyvelerin ve sebzelerin bünyesindeki su buharlaşarak çevre havasına katılır ve ortamdan uzaklaştırılır. Ürün ile çevresi arasındaki nem alışverişi sonlanıncaya kadar üç evre söz konusu olmaktadır. Bunlar sırasıyla; ürünlerin ısınması, sabit hızla kuruması ve azalan hızla kurumasıdır (Ersoyak vd., 2023). İlk adım olan ısınma aşaması, ürün sıcaklığının ortam sıcaklığına yükselmesi sürecini kapsamaktadır. Toplam kuruma periyodunda materyalin ısınması çok uzun sürmediğinden bu aşamada önemli miktarda nem kaybı olmamaktadır. Bu aşamanın ardından sabit hızla kuruma evresi başlamaktadır. Sabit hızla kuruma evresinde birim zamanda üründen uzaklaşan nem miktarı değişmemektedir. Bu evrede, ürünlerin dış kısmında ince bir su katmanı olduğu kabul edilir ve burada ürün yüzeyinden uzaklaşan suyun hızı ile merkezden dış tabakaya geçen suyun hızı eşittir. Sabit hızla kuruma evresi, ürün merkezinden dış katmanlara geçen nem hızının dış kısımdaki suyun buharlaşma hızından düşük olduğu anda sona ermekte ve bu andaki neme 1. kritik nem seviyesi denmektedir. Bu andan itibaren azalan hızla kuruma evresi devreye girmektedir. Azalan hızla kuruma evresinde,

hem ürünün iç kısmında buharlaşma meydana gelmekte hem de dış katmandaki su ürününden uzaklaşmaktadır. Ürünün nem içeriği belirli bir eşik değerine düştüğünde artık dış tabakadan havaya nem çıkışı tamamen durur. Bu evre dışarıya nem hareketliliği durduğu anda sonlanmaktadır (Yağcıoğlu, 1999).

Kurutma işleminde, kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyon teknikleri kullanılmaktadır. Geçmiş yıllardan günümüze kadar olan süreçte geleneksel (güneşte ve gölgede kurutma), sıcak hava ile kurutma (konvektif), mikrodalga kurutma, hibrit kurutma (mikrodalga-konvektif, vakumlu-dondurarak gibi), vakumlu kurutma, dondurarak kurutma, ozmotik kurutma, sprey kurutma, kızılötesi ile kurutma, köpük kurutma, puf kurutma, elektrohidrokinamik kurutma gibi çok sayıda kurutma tekniği tanımlanmış ve pratikte hâlâ uygulanmaktadır (Zhu vd., 2023; Yue vd., 2023; Iranshah vd., 2023; Köprüalan vd., 2019; Aslan ve Ertaş, 2021; Hii vd., 2021). Kurutulmuş ürünlerin daha konsantre hale gelerek besin değerinin artması, hacmi küçülen ürünlerin daha ekonomik ve kolay bir şekilde depolanması ve taşınması, ticari değeri ve katma değeri yüksek olan ürünlerin elde edilmesi, enzimatik reaksiyonların önüne geçilerek ürünlerin daha uzun dayanması kurutma işleminin son derece önemli avantajlarıdır (Günaydın, 2020; Çetin, 2021).

1.1. Tarımsal Ürünleri Kurutma Yöntemleri

1.1.1. Gölgede Kurutma Yöntemi

Geleneksel kurutma tekniklerinden biri olan gölgede kurutma, çoğunlukla aromatik tıbbi bitkilerin ve baharatların dehidrasyonunda kullanılmaktadır (Khallaf ve El-Sebaai, 2022). Bu yöntem, ışık kaynaklı kimyasal tepkimeleri (foto oksidasyon reaksiyonları) azaltarak ışığa duyarlı bitkileri korumaktadır (Ropelewska vd., 2023b; Nurhaslina vd., 2022; Ray vd., 2022). Kurutma işlemi sonlanıncaya kadar ek enerji kaynağına gerek duyulmaması ve işletim masrafinin az olması gölgede kurutma yönteminin son derece önemli avantajlarıdır. Buna karşın, kurutma süresinin çok uzun olması, insan işgücü ihtiyacının fazla olması, kurutma için geniş alanlara gereksinim duyulması olumsuz yönleridir. Ayrıca kapalı alanlarda nem kontrolünün sağlanamaması ürünlerde mikro küf mantarlarının oluşumuna sebebiyet vermektedir. Bu kurutma yönteminin bir diğer dezavantajı kapalı alanlarda kurumaya bırakılan ürünlerin toz, böcek ve iç ortam zararlılarına maruz kalmasıdır (Alibas vd., 2021; Günaydın vd., 2022).

1.1.2. Güneşte Kurutma Yöntemi

Güneşte kurutma yöntemi, kurutma materyallerinin doğrudan güneş ışınlarına maruz bırakılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemin, kurutma süresince başka bir enerji kaynağına ihtiyaç duyulmaması ve yüksek maliyet gerektirmemesi gibi son derece önemli avantajları bulunmaktadır. Buna karşın, güneşte bırakılan ürünlerde meydana gelen Maillard reaksiyonu ve renk pigmentlerinin bozulması, ürünlerde aroma ve renk kaybına yol açmaktadır. Ayrıca güneşte kurutma, ısıya ve ışığa karşı son derece duyarlı olan askorbik asitin kimyasal yapısının değişmesi sonucu meyve ve sebzelerdeki C vitamini içeriğinin önemli ölçüde azalmasına sebep olmaktadır (Çetin ve Sağlam, 2023; Ropelewska vd., 2023a; Ali vd., 2016). Uzun kurutma süresi, serilerek kurutma ortamında bırakılan ürünlerin hava koşullarından etkilenmesi, çeşitli böcek, sinek, kuş ve kemirgenlerin istilasına maruz kalması gibi dezavantajlı yönleri bulunmaktadır. Söz konusu yöntemin kurutma için çok büyük alanlar gerektirmesi, insan işgücünün fazla olması, sağlık açısından pek çok zararı bulunan gaz emisyonlarının meyve ve sebzelerin içine işlemesi ihtimali söz konusu olmaktadır (Shree, 2022).

1.1.3. Konvektif Kurutma Yöntemi

Sıcak havayla kurutma yöntemi (konvektif kurutma yöntemi) güneşte ve gölgede kurutma yöntemlerine alternatif olarak geliştirilmiştir. Düşük maliyetli olması, çok fazla çevre kirliliği yaratmaması ve kullanımının basit olması nedeniyle meyvelerin ve sebzelerin kurutulmasında en çok tercih edilen tekniklerden biridir (Günaydın vd., 2022). Bu yöntemde ısı, kurutulacak olan materyallere taşınım yoluyla iletilmekte olup, kurutucu içerisindeki hava bir elektrikli ısıtıcı ile ısıtıldıktan sonra fan yardımıyla fırın içerisinde homojen bir şekilde dağıtılmaktadır (Onwude vd., 2018; Çetin, 2019). Ürün yüzeyine aktarılan ısı kurutulmak üzere fırın içerisine yerleştirilen ürünlerin sıcaklığını artırmakta ve ürünlerin yapısında bulunan suyun sürekli olarak buharlaşmasını sağlamaktadır. Ürün yüzeyinde biriken buhar onu çevreleyen hava tarafından taşınmaktadır. Bu yöntemde, ürünler nem stresine ve termal strese maruz kalmakta olup, ürünlerin nemi dış kısımdan başlayarak iç katmanlara doğru kademeli olarak azaltılmaktadır. Bununla ilişkili olarak, ürünlerde meydana gelen büzülme, ısı ve kütle transferi üzerinde önemli bir etkiye sahip olmaktadır (Liu vd., 2019; Zhu vd., 2021). Bu yöntem, özellikle bağıl nemin yüksek

olduğu bölgelerde kurutma süresini uzatmaktadır. Yüksek kurutma hava sıcaklıklarının kullanılması kurutma süresini kısaltmasına rağmen, kabukta büzülme, sertleşme, esmerleşme gibi yapısal deformasyonları beraberinde getirmektedir. Düşük sıcaklıklarda ise uzun süre sıcak hava etkisinde kalan meyvelerde ve sebzelerde acımsı tat meydana gelmektedir. Buna ek olarak, uzun kurutma süresi ilişkili olarak enerji tüketimi artmakta, ürünlerde rehidrasyon kapasitesi azalmakta ve materyallerin besleyici kalite özelliklerinde ciddi kayıplar meydana gelmektedir (Kowalski vd., 2023).

1.1.4. Mikrodalga Kurutma Yöntemi

Mikrodalga kurutma yöntemi, hasat sonrası muhafaza yöntemlerinden en yaygın olarak kullanılan, geleneksel (güneşte ve gölgede) ve konvektif kurutma yöntemlerinin dezavantajlarını aşmak adına geliştirilen bir tekniktir. Mikrodalga kurutucular temelde magnetron, fırın boşluğu, mikrodalgaları yayan güç kaynağı ve havalandırma sisteminden oluşmaktadır (Alibas, 2014; Çetin, 2021). Bu yöntem, kurutma fırınında bulunan magnetronun meyvelerdeki ve sebzelerdeki su moleküllerini çok yüksek frekansta titreştirerek, hareket enerjisi açığa çıkarması ve bu hareket enerjisinin ısı enerjisine dönüşmesi esasına dayanmaktadır. Mikrodalga kurutma tekniğinin ürünleri ısıtma mekanizması diğer kurutma yöntemlerine kıyasla oldukça farklıdır (Alibaş vd., 2021; Dursun vd., 2024). Ürün ile mikrodalga ışınların etkileşiminde iki ana unsur bulunmaktadır. Bunlar; dipolar rotasyon ve iyonik iletimdir. Gıdalardaki birçok molekül elektriksel dipollerdir. Yani bir ucu pozitif, bir ucu negatif yük taşımaktadır. Mikrodalga ışınlar kurutucu içerisinde değişken elektriksel alan oluşturmaktadır. Ürünlerin yapısında bulunan su moleküllerinin bu değişken elektriksel alanı takip etmeye çalışması sonucu düzensiz bir kinetik oluşmaktadır (Huang vd., 2022). Burada meydana gelen yüksek frekansta moleküler dönme hareketi ısı enerjisine dönüşerek ürünlerin iç kısmında ciddi derecede ısınma sağlamaktadır. Açığa çıkan bu ısı ile ürünler en iç kısmından başlayarak dış katmanlara doğru ısıtılmakta, yani meyveler ve sebzeler kendi iç enerjisi ile kurutulmaktadır (Günaydın vd., 2022). Bu yöntemde, ısınma sonucu açığa çıkan su buharı kurutma materyallerinin hücre duvarı tarafından engellendiğinde, ürünlerin iç ve dış kısımları arasında basınç farkı oluşmaktadır. Oluşan basınç farkı ürün üzerinde şişirme etkisi yaratmaktadır. Dolayısıyla, kabarma özelliği bulunan gıda maddelerinin kurutulmasında mikrodalga kurutma tekniği yaygın olarak kullanılmaktadır (Changrue

vd. 2006; Cao vd., 2017). Mikrodalga kurutma tekniği, kurutma süresini kısaltarak, enerji verimliliğini artırmaktadır. Öte yandan, meyvelerin ve sebzelerin besin içeriği konsantrasyonunu artırarak kaliteli ürünlerin elde edilmesine katkı sağlamaktadır. Buna ilaveten, kurutma yapılacak alanın önceden ısınmasına gerek duyulmaması bu yöntemin son derece önemli avantajıdır (Guo vd., 2021; Mouhoubi vd. 2021). Tüm bu avantajlarına karşın, bu tekniğin pahalı olması, işleminin zor olması, ürünlerin geometrik şekline bağlı olarak her noktanın eşit oranda ısınmaması dezavantajlı yönleridir (Andres vd., 2018). Şekerli ürünlerde mikrodalga etkisi yanma, kararma, patlama gibi durumlara yol açmaktadır. Bu gibi deformasyonları azaltmak amacıyla konvektif-mikrodalga, vakumlu-dondurarak gibi hibrit kurutma tekniklerine rağbet artmış durumdadır (Xu vd., 2018).

1.1.5. Hibrit Kurutma Yöntemi

Hibrit kurutma yöntemi, pratikte uygulanan kurutma yöntemlerinin dezavantajlarının önüne geçmek ve mevcut kurutma yöntemlerinin avantajlarını birleştirmek amacıyla geliştirilen bir tekniktir. Bu yöntemde, farklı kurutma teknikleri kombine edilerek (mikrodalga-konvektif, dondurarak-vakumlu kurutma, mikrodalga-vakumlu gibi) kullanılmaktadır. Hibrit olarak kurutulmuş nihai ürünlerin biyokimyasal özellikleri iyi düzeyde korunmakta, renk, görüntü ve tat açısından kaliteli ürünler elde edilmekte, kurutma süresi kısalmakta ve buna paralel olarak enerji sarfıyatı azalmaktadır. Son yıllarda hibrit kurutma yöntemlerinin kullanımı artmaya başlamıştır (Chua ve Chou, 2014; Xu vd., 2018; Zielinska, 2020).

1.1.6. Dondurarak Kurutma Yöntemi

Dondurarak kurutma yöntemi (liyofilizasyon), ısıya karşı hassas olan ürünlerin kurutulmasında kullanılmakta olup, meyvelerdeki ve sebzelerdeki yüksek orandaki suyun düşük basınç altında süblimleşmesi sonucu ortamdan uzaklaştırılması ilkesine dayanan bir dehidrasyon tekniğidir. Bu yöntemde, ürünlerden yoğun nemin buharlaştırılması sırasıyla; dondurma aşaması, birincil kurutma evresi ve ikincil kurutma evresi olmak üzere üç adımda gerçekleştirilmektedir. İlk etapta kurutma materyali dondurularak ürün yüzeyinde buz kristallerinin oluşması sağlanmaktadır. Bu buz kristalleri katı fazdan sıvı forma geçirildikten sonra su buharına dönüştürülerek bir vakum pompası ile çekilip kurutucu ortamdan dışarı atılmaktadır (Marques ve Freire, 2005; Liapis ve Bruttini,

2020). Çok düşük sıcaklıklarda dondurarak kurutulan ürünlerin yapısal formu ve biyokimyasal içeriği iyi seviyede korunmaktadır. Bunun yanı sıra ürünlerin kalitesini belirleyen en önemli unsurlardan olan yeniden su çekme yeteneği (rehidrasyon kapasitesi) yükselmekte ve renk özellikleri taze ürüne yakın olmaktadır. Buna karşın, fabrikasyonunun oldukça zor ve pahalı olması, kurutma süresini uzatarak enerji verimliliğini düşürmesi gibi dezavantajlı yanları bulunmaktadır (Ratti, 2001; Liu vd., 2022; Ropelewska vd., 2023c).

1.1.7. Vakumlu Kurutma Yöntemi

Vakumlu kurutma tekniği, ısıya duyarlı ürünlerin kurutulmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde, kurutma fırınının içerisindeki hava vakum pompası ile emilerek basınçlı vakum ortamı oluşturulmaktadır. Bu sayede, ürünlerin hava ile etkileşimi azalmakta ve bununla ilişkili olarak oksitlenmenin beraberinde getirdiği renk değişimi ve biyokimyasal kayıpların önüne geçilmektedir. Ayrıca vakum etkisi ince kabuklu ve yoğun nem içeriğine sahip olan ürünlerde patlama riskini azaltmaktadır (Bezyna ve Kutovoy, 2005; Vakula vd., 2020). Vakumlu kurutma tekniğinde, fırın tepsisine yerleştirilen ürünler, sıcak yüzeyle temas ederek fazla nemini bünyesinden atmaktadır. Burada ortaya çıkan nem kondansatörden dışarıya gönderilmektedir. Bu yöntemde, ısıya duyarlı ürünlerin düşük sıcaklıklarda dahi hızlı bir şekilde kuruması sağlanmaktadır. Vakumlu kurutma tekniği kurutma süresini konvektif kurutmaya kıyasla önemli ölçüde kısaltmaktadır. Ancak, maliyetinin yüksek olması dezavantajlı yönüdür (Parikh, 2015).

1.2. Kurutmada Matematiksel Modelleme

Tarımsal ürünlerin kurutulmasında sıklıkla yararlanılan matematiksel modeller, kurutma sürecinin doğru ve etkin bir şekilde açıklanmasında, mevcut kurutucuların geliştirilmesinde veya yeni kurutucu sistemlerin tasarlanıp imal edilmesinde oldukça önemli bir yere sahiptir. Bir başka deyişle, matematiksel modellemeler kurutma teknolojisinin vazgeçilmez bir parçası durumundadır. Bu nedenle, meyvelerin ve sebzelerin kurutma kinetiğinin doğru bir şekilde tahmin edilebilmesi için, matematiksel modellerin temel fikrini iyi bir şekilde açıklamak gerekmektedir. Gıdalarda kurutma kinetiği karmaşık bir süreçtir. Kurutma hızını belirlemeye ve kurutma parametrelerinin

optimizasyonu için uygun kinetik modellere ihtiyaç vardır. Kurutma çalışmalarında yaygın olarak kullanılan matematiksel modeller teorik, yarı teorik ve ampirik ince tabaka kurutma eşitlikleridir. Temel olarak bağıl nemin sabit olduğu şartlarda uygulanan sıcaklık değeri, ince tabaka kurutma eşitliklerinde yer alan kurutma sabit ve katsayıları ile ilişkilendirilmektedir (Naderinezhad vd., 2016; Keneni vd., 2019; Çetin, 2021).

1.3. Görüntü İşleme ve Makine Öğrenmesi

En genel ifade ile görüntü işleme “elde edilen görüntülerin sayısal verilere dönüştürülerek analiz edilmesi” şeklinde tanımlanmaktadır. Görüntü işleme tekniğinin, tıp, savunma sanayi, biyomedikal, araç içi otomasyon, güvenlik, jeoloji, tarım ve haritalama gibi çok geniş bir kullanım yelpazesi bulunmaktadır (Sabancı vd., 2012; Solak ve Altınışik, 2018).

Tarımda görüntü işleme tekniği;

- Yabancı ot tespiti,
- Meyvelerin ve sebzelerin tür, boyut ve şekil özelliklerine göre sınıflandırılması,
- Tarım ürünlerinin renk özelliklerinin belirlenmesi,
- Sulama,
- Gübreleme,
- Tarımsal ürünlerde boy, şekil açısından kalite kontrolü,
- Meyvelerde ve sebzelerde rekolte tahmini,
- Meyve olgunluk derecesinin tespiti,
- Yaprak yüzey alanının belirlenmesi,
- Kök gelişimi takibi ve
- Bitkilerde zararlı ve hastalık tespiti

gibi birçok alanda başarılı bir şekilde uygulanmaktadır (Singh ve Misra, 2017; Liu vd., 2016; Kaymak vd., 2019; Yalçın vd., 2022; Kahya ve Arın 2014; vd., 2018; Farhood vd.,2022). Hızlı nüfus artışı ve teknolojiye gelişmeler endüstriyel tarıma geçişe zemin hazırlamıştır. Burada amaç, insan işgücünü minimuma indirerek yüksek randıman sağlamaktır. Bu doğrultuda, tarımsal faaliyetlerin insan gücü yerine otomasyon sistemlerin tasarlanıp kullanılmasıyla işlerin kısa sürede başarılı sonuçların elde edilmesi

ve uygulamanın ekonomik olması avantajlı yönleridir. Bu sistemlerin tarım alanında başarılı bir şekilde uygulanması ve avantaj sağlaması otomasyon sistemlerine olan ilgi ve talebi her geçen gün artırmaktadır. Son yıllarda endüstriyel tarımda görüntü işleme tekniği kullanılarak başarılı çalışmalar ve uygulamalar bulunmaktadır (Bhat ve Huand, 2021).

Tarımsal ürünlerin tür, boyut ve şekil özelliklerine göre sınıflandırılması genel olarak el ile yapılmaktadır. Bu yöntemde doğruluk payı ve verimlilik düşük olmakta ve insanda fiziksel yorgunluğu artırmaktadır. İşlem süresini kısaltmak, hızlı ve tutarlı bir sonuç elde etmek amacıyla modern teknolojilerden görüntü işleme uygulamaları kullanılmaktadır. Gıdalarda görüntü işleme tekniğinde alınan görüntüler, sayısal verilere dönüştürüldükten sonra nesnelere ait özellikler algoritmalar ile işlenmektedir. Görüntü işleme tekniğinin ilk adımında kamera, fotoğraf makinesi ya da tarayıcı vasıtasıyla yüksek çözünürlükte görüntüler elde edilmektedir. Elde edilen bu görüntüler piksellere ayrılmakta ve her bir elemanı bir piksel olan matrisler şeklinde depolandıktan sonra uygun programlarla işlenmektedir. Pikseller gıdaların görüntüleri hakkında önemli bilgiler vermektedir. Örneğin, piksellerin yoğunluğu renk özelliği olarak ifade edilirken, piksel sayısı boyut özelliklerini temsil etmektedir. Bununla birlikte görüntülerin sınır değerleri örneklerin şekli hakkında bilgi vermektedir (Kabaş ve Öten, 2015; Solak ve Altınışık, 2018).

Tarımsal ürünlerde kalite belirteci olan renk, koku, tat, şekil, boyut gibi özellikler tüketicilerin tercihini etkileyen oldukça önemli parametrelerdir. Bu kalite özelliklerinin etkin bir şekilde açıklanması; taşıma, depolama, sınıflandırma açısından önem arz etmektedir. Kurutulmuş tarım ürünlerinde ise, boyut, şekil, renk, rehidrasyon, kalınlık gibi özellikler ürünlerin sınıflandırılmasında yararlanılan kalite belirteçleridir. Kurutma çalışmalarında, kurutulmuş ürünlerdeki mikrobiyal büyüme, fizikomekanik özellikler ve renk gibi kalite standartlarının belirlenmesinde son yıllarda görüntü işleme tekniği yaygın olarak kullanılmaktadır (Taşova ve Güzel, 2020; Çetin, 2021; Christofides vd., 2022; Gunes vd., 2022; Saraçoğlu vd., 2023). Görüntü işleme tekniğinin; makine öğrenmesi, yapay zekâ, derin öğrenme, basit simülasyonlar ve modellemeleriyle birlikte kullanılması, otomatik sistemlerin, sürücüsüz traktör ya da tarım makinelerinin ve tarım robotlarının geliştirilmesine ve üretilmesine son derece önemli katkı sağlamaktadır.

Makine öğrenmesi, bilgisayarların örüntü tanıma, verilere dayalı tahmin yapma ve bunun için özel bilgisayar programlarından kararlar alma yeteneğine sahip yapay zekânın bir alt kategorisidir. Teknolojik gelişmelerle birlikte farklı amaçlar için kullanılmak üzere makine öğrenme yöntemleri geliştirilmekte ve uygulanmaktadır (Altaş vd., 2019; Çetin, 2021). Bu uygulamalar; genetik algoritma, yapay sinir ağları, karar ağaçları, k-en yakın komşu, bulanık mantık ve regresyon gibi algoritmaları içermektedir. Makine öğrenmesine dayalı tarımsal ürünlerin sınıflandırılması işlemleri tutarlı sınıflandırıcı modelleri kavrayarak örneklerin ayrılmasında başarılı sonuçlar vermektedir. Büyük ölçekli verileri analiz ederek farklı uygulamalarda kullanılabilecek kalıplara dönüştürülmektedir. Bunun yanı sıra, makine öğrenmesi girdi-çıkı bağlantılarını içeren, gelecek ve geçmiş verilerini doğru bir şekilde tahmin eden modelleri kapsamaktadır (Çetin, 2022a; Kesriklioğlu ve Oktay, 2023; Varol vd., 2022).

1.4. Literatür Özetleri

Rop vd. (2010) tarafından yürütülen bir çalışmada gilaburu meyvesinin antioksidan, toplam fenolik, flavonoid ve C vitamini içeriği araştırılmıştır. Çalışmada taze gilaburu örneklerinin C vitamini ve fenolik madde içeriğinin oldukça yüksek olduğu bildirilmiştir. Flavanoid içeriğinin $3,14-4,89 \text{ g kg}^{-1}$, C vitamini içeriğinin ise $1,01-1,64 \text{ g kg}^{-1}$ arasında değiştiği raporlanmıştır. En yüksek antioksidan içeriğinin ABTS⁺ yönteminde ölçüldüğü belirtilmiştir. Ayrıca fenolik içeriği ile antioksidan kapasitesi arasında önemli pozitif yönlü korelasyonların olduğu vurgulanmıştır.

Özrenk vd. (2011) Erzincan yöresinde doğal olarak yetişen Gilaburu meyvesinin et ve çekirdek kısmının fiziksel ve biyokimyasal özelliklerini araştırmışlardır. Çalışma kapsamında tartarik asit, malik asit, süksinik asit, fumarik asit ve asetik asit ve gallik asit, kateşin, kafeik asit, p-kumarik asit, ferulik asit, o-kumarik asit, protokateşik asit, vanillik asit, rutin ve kuersetin içerikleri HPLC yöntemi ile belirlenmiştir. Gilaburu meyvelerinde ferulik asit, o-kumarik asit, protokateşik asit, vanilik asit, rutin ve kersetin tespit edilmiştir. Tartarik asit içeriğinin $1,24-1,41 \text{ g kg}^{-1}$ arasında olduğu; malik asit içeriğinin $1,21-1,37 \text{ g kg}^{-1}$; süksinik asit içeriğinin $0,046-0,052 \text{ g kg}^{-1}$ arasında bulunduğu; fumarik asit içeriğinin $0,15-0,16 \text{ mg kg}^{-1}$ aralığında ve asetik asit içeriğinin $0,026-0,032 \text{ g kg}^{-1}$ aralığında bulunduğu bildirilmiştir. Kateşin içeriği ise $284,96 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak diğer fenolik bileşiklerden daha yüksek bulunmuştur. Bununla birlikte, gallik asitin $108,29-118,17 \text{ mg}$

kg^{-1} ; kateşin içeriğinin 284,96-352,04 mg kg^{-1} , klorojenik asit içeriğinin 29,51-44,33 mg kg^{-1} ; kafeik asit içeriğinin 26,26-38,35 mg kg^{-1} ; p-kumarik asit içeriği 0,104-0,117 mg kg^{-1} ; ferulik asit içeriğinin 44,98-55,90 mg kg^{-1} ; o-kumarik asit içeriğinin 13,91-17,16 mg kg^{-1} ; protokateşik asit içeriğinin 20,93-36,27 mg kg^{-1} ; vanilik asit içeriğinin 22,10-22,49 mg kg^{-1} ; rutin içeriği 17,81-20,02 mg kg^{-1} ve kersetin içeriğinin 6,11-8,32 mg kg^{-1} aralığında olduğu bulgulanmıştır.

Coklar vd. (2018) alıç meyvesini 360 W mikrodalga gücü ve 60 °C sıcaklığın birlikte kullanıldığı kombine mikrodalga-konvektif kurutma, -18 °C’de dondurarak kurutma ve 60 °C’de konvektif kurutma yöntemlerini kullanarak kurutmuş ve bu yöntemlerin alıç meyvesinin toplam fenolik bileşenleri, antioksidan kapasitesi ve renk değişimine olan etkisini araştırmışlardır. Çalışmada toplam fenolik bileşenler, antioksidan içeriği ve renk parametreleri açısından taze ürüne kıyasla en yüksek oranda kayıpların meydana geldiği yöntemin 60 °C sıcaklıkta konvektif kurutma tekniği olduğu; buna karşın taze ürüne en yakın sonuçların dondurarak kurutma tekniği ile elde edildiği saptanmıştır. Ayrıca mikrodalga-sıcak hava kombinasyonu ile kurutulan numunelerde kahverengileşmenin yüksek olduğu da kaydedilmiştir.

Taşkın vd. (2019) gilaburu meyvesinin dondurularak kurutulması sonucu rehidrasyon, su aktivitesi, pH, °Briks, renk, kütle değişimi, yoğunluk, akışkanlık, yapışkanlık, ıslanabilirlik ve çözünürlük özelliklerinde meydana gelen değişimleri araştırmışlardır. Çalışmada dondurarak kurutma işlemi 52 Pa basınç ve -50 °C sıcaklık koşullarında gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemi 720 dakikada sonlanmıştır. Gilaburu örneklerinin rehidrasyon kapasitesini hesaplamak için kurutulmuş numuneden 1 gram tartılarak 20 ml distile su içerisinde 1 saat bekletilmiştir. Oluşan çökelti ağırlığı yeniden sulandırılmış ve numune ağırlığı olarak kullanılmıştır. Çalışma sonucunda kurutulmuş ürünlerde en önemli kalite göstergelerinden biri olan rehidrasyon kapasitesinin, toz boyutunun artması ile ilişkili olarak artış gösterdiği belirlenmiştir. Çalışmada pH değeri ortalama olarak 3,0-3,2 arasında bulunmuştur. Bununla birlikte °Briks değerinin %40,33 ile %52,00 arasında olduğu tespit edilmiştir. Dondurarak kurutulmuş gilaburu örneklerinde en yüksek kütle yoğunluğu 0,440 g ml^{-1} olarak tespit edilmiştir. Tüm numunelerin yapışkanlık oranının orta ve düşük seviyede olduğu bulgulanmıştır. En yüksek ıslanabilirlik, çözünürlük, yoğunluk 500 μm ’den küçük parçacık boyutundaki numunelerde ölçülürken en düşük ıslanabilirlik, çözünürlük, yoğunluk değeri 63-100 μm parçacık boyutuna sahip ürünlerde

ölçülmüştür. Gilaburu meyvesinin dondurarak kurutulmasında en uygun ince tabaka kurutma modelinin logaritmik model olduğu tespit edilmiştir. Bu modelde OKH değeri 0,0097, χ^2 değeri $0,8137 \times 10^{-4}$ ve R^2 değeri 0,9989 olarak bulunmuştur.

Alifakı vd. (2019) ultrasonikasyon süresinin ve meyve çekirdek kaplama oranının gilaburu meyvesinin enkapsülasyonu üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmada kaplama materyali olarak arap zankı (gum arabic) ve maltodekstrin kullanılmıştır. Kaplama oranları 1:10, 1:20 ve 1:30, ultrasonikasyon süresi ise 10, 20 ve 30 dakika olacak şekilde ayarlanmıştır. Dondurarak kurutma işlemi 48 saat süre ile -18 °C’de gerçekleştirilmiştir. Kaplama malzemesi olarak arap zankı kullanımının gilaburu mikrokapsüllerinin nem içeriğinde, çözünürlüğünde ve kütle yoğunluğunda artış sağladığı vurgulanmıştır. Ayrıca klorojenik asit içeriği 3,59 mg g⁻¹ ve kafeik asit içeriği 0,004 mg g⁻¹ olarak belirlenmiştir.

Taşova vd. (2019) kütlesi 25 ± 3 gr olan kuşburnu numunelerini %68,31 (y.b.) başlangıç neminden %10-13 (y.b.) nem değerine dek 50 °C, 60 °C, 70 °C hava sıcaklıklarında etüvde ve 360 W, 540 W, 720 W ve 900 W çıkış güçlerinde mikrodalga kurutma tekniği ile kurutmuş ve kurutma işleminin toplam süre, C vitamini içeriği ve renk değişimine olan etkisini araştırmışlardır. Mikrodalga kurutmada mikrodalga çıkış gücünün artmasıyla ve etüvde kurutmada sıcaklığın artmasıyla kurutma süresinin kısaldığı tespit edilmiştir. Etüvde kurutmada 60 °C’de kurutma yöntemi ve mikrodalga kurutmada 720 W çıkış gücü ile kurutulmuş ürünlerin renk değerinin taze ürüne oldukça yakın olduğu tespit edilmiştir. Taze ürüne en yakın C vitamini içeriği mikrodalga kurutmada 900 W güç değerinde ve etüvde kurutmada 70 °C hava sıcaklığında elde edilmiştir.

Taskin vd. (2019) kızılotesi ve mikrodalga kurutma yöntemlerinin gilaburu meyvesinin rehidrasyon kapasitesi, pH içeriği, titrasyon asitliği ve renk özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada gilaburu meyvesi 60 °C, 70 °C ve 80 °C kızılotesi sıcaklıklarda ve 120 ve 350 W’da mikrodalga kurutma yöntemi ile kurutulmuştur. Kızılotesi sıcaklık seviyesi ile mikrodalga güç seviyesinin artmasıyla kurutma süresinin kısaldığı ve rehidrasyon kapasitesinin iyileştiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte, titre edilebilir asit ve pH içeriğindeki en fazla kaybın 350 W’da mikrodalga kurutma yönteminde belirlendiği bildirilmiştir. Aynı zamanda taze ürüne en yakın renk değerleri (L^* , a^* , b^* ve C) 80°C’de kızılotesi sıcaklık seviyesinde ölçülmüştür.

Dal ve Karacabey (2021) gilaburu meyvesini 60 °C, 70 °C ve 80 °C sıcaklık seviyelerinde konveksiyonel fırında kurutmuş ve bu sıcaklık seviyelerinin ürünlerin kurutma kinetiği ve biyokimyasal içeriğine etkisini belirlemişlerdir. Çalışmada sıcaklık seviyesinin artmasıyla kurutma süresinin kısaldığı tespit edilmiştir. Bu kapsamda en uzun kurutma süresinin 2663 dakika ile 60 °C’de, en kısa kurutma süresinin 420 dakika ile 80 °C’de ölçüldüğü bildirilmiştir. Bununla birlikte, sıcaklık seviyesindeki artışın pH içeriğinde azalmaya, titrasyon asitliğinde artışa neden olduğu belirlenmiştir. Sıcaklık seviyesinin yükselmesiyle ürünlerde sertliğin arttığı bununla ilişkili olarak da elastikiyetin azaldığı saptanmıştır. Sıcaklık seviyesinin düşmesiyle antioksidan ve toplam fenolik içeriğinin azaldığı saptanmıştır. Toplam renk değişiminin en fazla olduğu yöntemin (11,70) 60°C sıcaklıkta konvektif kurutma yöntemi olduğu tespit edilmiştir. En yüksek toplam fenolik miktarı ve antioksidan içeriği 80 °C’de sırasıyla; 40,95 mg GAE g⁻¹ ile 95,06 mg TE g⁻¹ olarak ölçülmüştür.

Mazur vd. (2021) dondurulup toz hale getirilen gilaburu meyvesinin etlerde kalite parametreleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada gilaburu örnekleri 48 saat boyunca -18 °C’de dondurulmuştur. Et örnekleri kontrol, %5, %10 ve %15 oranında dondurulmuş gilaburu tozu ilave edilmiş numuneler olmak üzere 4 grupta sınıflandırılmıştır. Ürünlerde rehidrasyon kapasitesi, tat ve aroma gibi kalite parametreleri üzerinde etkili olan pH değerinin başlangıçta 5,95 ile 5,78 arasında değiştiği, dondurulmuş gilaburu tozu ilavesiyle bu değer düşüğü bildirilmiştir. Kontrol numunelerinin pişirme kaybı deneme şartlarına göre daha düşük bir değerde %8,71 olarak belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada renk parametrelerinin gilaburu ilaveli etlerde daha iyi korunduğu saptanmıştır. Bununla birlikte, dondurarak kurutulmuş gilaburu tozlarının etlere ilave edilmesinin mikrobiyal bozulmayı azalttığı ve ürünlerin raf ömrünü artırdığı vurgulanmıştır.

Ropelewska ve Szwejda-Grzybowska (2021) biber dilimlerini ve tohumlarının görüntülerini renk kanallarına dönüştürerek makine öğrenmesi ile sınıflandırmışlardır. Çalışmada doku seçimleri ve ayırıcı analizler, RGB, Lab, XYZ renk uzayları ve R, G, B, L, a, b, X, Y, Z renk kanalları için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Biber dilimleri için RGB renk uzayında G, Lab, renk uzayında L, XYZ renk uzayında Y için oluşturulan ayırıcı modellerin, %100'e varan doğruluklara ulaştığı raporlanmıştır. Biber tohumları için, RGB renk uzayından seçilen dokulara dayalı olarak oluşturulan modeller için %89'a, Lab renk

uzayı için %90'a ve XYZ renk uzayı için %82'ye ulaşan doğruluk oranlarının elde edildiği vurgulanmıştır. Ayrıca araştırmacılar makine öğrenmesi algoritmalarından MLP'nin (Çok Katmanlı Algılayıcı Yapay Sinir Ağı) biber türlerinin tohumlarını RGB, Lab ve XYZ renk uzaylarında sırasıyla %89, %90 ve %82 doğrulukla doğru bir şekilde kategorize ettiğini bildirmişlerdir.

Bölek vd. (2022) gilaburu meyvelerini 60 °C, 70 °C ve 80 °C hava sıcaklıklarında akışkan yataklı kurutucuda kurutmuşlar ve sıcaklık uygulamalarının kurutulmuş ürünlerde renk, rehidrasyon, çekme oranı, antioksidan aktivite, pH gibi fiziksel ve biyokimyasal özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada belirtilen sıcaklıklar için kurutma sürelerinin sırasıyla; 5, 4 ve 3 saat olduğu bildirilmiştir. Sıcaklık seviyesinin artmasıyla renk parametrelerinden L*, a* ve b* değerlerinin önemli ölçüde azaldığı raporlanmıştır. Ayrıca kurutma işleminin başlangıcında nem kaybı yüksek iken, kurutmanın son evrelerine doğru kuruma hızının azaldığı raporlanmıştır. En yüksek pH, rehidrasyon kapasitesi ve büzülme oranının değerinin 60 °C sıcaklık uygulamasında ölçüldüğü vurgulanmıştır. Antioksidan aktivitenin kurutulmuş ürünlerde, taze ürüne kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, sıcaklık seviyesinin yükselmesiyle antioksidan aktivitenin arttığı, bu doğrultuda en yüksek antioksidan aktivitenin 80 °C'de kurutulmuş örneklerde ölçüldüğü bildirilmiştir.

Çetin vd. (2023a) tarafından yürütülen bir çalışmada elma dilimleri ultrases ön işlemlili ve ön işlemsiz olarak dondurarak, güneşte ve kontrollü serada kurutulmuştur. Kurutma işleminin elma dilimlerinin kalite parametreleri üzerine etkisini belirlemek amacıyla makine öğrenmesi algoritmaları kullanılmıştır. Çalışmada ilk olarak örnekler ultrases ön işlemlili ve kontrol grubu olmak üzere sınıflandırılmıştır. Makine öğrenmesi algoritmaları ile en iyi sınıflandırma oranı açıkta güneşte kurutulan numunelerden elde edilmiş olup, ultrases ön işlemlili ve kontrol grubu için doğruluk oranı sırasıyla; %95 (Bayes Net) ve %93 (Rastgele Orman) olarak belirlenmiştir. Tüm gruplarda ultrases ön işlemlili örneklerde sınıflandırma doğrulukları Bayes Net ve Rastgele Orman için sırasıyla; %93,67 ve %93,33 olarak raporlanmıştır. Bununla birlikte kontrol grupları için doğruluk sınıflandırması Bayes Net ve Rastgele Orman için sırasıyla; %80,33 ve %83,67 olarak ölçülmüştür. Tüm kurutma yöntemleri içerisinde ultrases ön işlemlili ve ön işlemsiz dondurularak kurutulan numunelerde doğruluk sınıflandırması %100 olarak

hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda, uygun bir görüntü işleme operasyonuna sahip makine öğrenmesi algoritmalarının, ürünlerin görüntülerinden yola çıkılarak kurutma sürecinin ürünlerde kalite parametrelerine etkisini belirlemeye yarayan tahribatsız bir teknik olduğu kanıtlanmıştır. Ayrıca görüntülerden yararlanılarak ürünlerin biyokimyasal içeriğinin tahmin edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Ropelewska vd. (2023c) görüntü işleme ve makine öğrenmesi tekniğini kullanarak kayısı çekirdeği çeşitlerinde boyut ve renk özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmada kayısı çekirdeklerinin görüntüsü düz yataklı bir tarayıcı ve dijital bir kamera ile elde edilmiştir. Çalışma kapsamında, toplam 2172 görüntü alınmış ve renk özellikleri L, a, b, X, Y, Z, U ve V renk koordinatları kullanılarak makine öğrenmesi algoritmalarıyla belirlenmiştir. Doğrusal Ayırma Analizi, K-en Yakın Komşu, Karar Ağaçları, Kuadratik Diyagonal, Destek Vektör Makineleri, Naive Bayes modelleri kullanılmıştır. Düz yataklı tarayıcı ile elde edilen görüntülerde kuadratik diyagonal ve K-en Yakın komşu modelleride %100 doğruluk elde edilirken, dijital kameradan alınan görüntülerde Destek Vektör Makinelerinde %96,77 oranında doğruluk elde edildiği bildirilmiştir. Sonuç olarak görüntü işleme ve makine öğrenmesi algoritmalarının kayısı çekirdeklerinin sınıflandırmasında başarılı olduğu belirtilmiştir.

Ropelewska vd. (2023d) çeşitli ön işlemlere tabi tutulan ve ön işlem uygulanmadan vakumlu kurutma tekniği ile kurutulmuş muz dilimlerini makine öğrenmesi ile sınıflandırmayı amaçlamışlardır. Kurutma işlemleri atmosferik 70 °C sıcaklık ve 200 mmHg vakum ile 400 mmHg basınç uygulamalarında gerçekleştirilmiştir. Örnekler, dokuz renk kanalında 1629 doku parametresine dayalı bir makine öğrenme yaklaşımı kullanılarak görüntülenmiş ve sınıflandırılmıştır. Araştırmacılar kurutulmuş muz örneklerinin, Rastgele Orman algoritması ile tüm renk kanallarındaki görüntülerden seçilen dokuları bir araya getiren bir model için %96,89'a ulaşan yüksek doğruluklarla sınıflandırıldığını belirtmişlerdir. Ayrıca karışıklık matrisinin en yüksek değerine, 70 °C + gum arabik, 70 °C + mikrodalga, 70 °C + 200 mmHg + gum arabik ile 70 °C + 200 mmHg + mikrodalga uygulamalarında ulaşıldığı ortaya konmuştur. Buna ilaveten, çalışmada kurutma ve ön işlemin muz dilimleri üzerindeki etkisinin değerlendirilmesinin görüntü işleme ve makine öğrenimi kullanılarak tahribatsız, objektif ve etkili bir şekilde gerçekleştirilebileceği kaydedilmiştir.

Dönmez ve Kadakal (2024) başlangıç nem içeriğini %83,95 olarak belirledikleri gilaburu meyvelerini 50 °C, 60 °C ve 70 °C hava sıcaklıklarında kurutarak, sıcaklık uygulamalarının meyvelerin biyokimyasal içeriğine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada belirtilen sıcaklık uygulamaları için kurutma işlemlerinin sırasıyla; 75, 17 ve 7 saat sürede tamamlandığı raporlanmıştır. Bununla birlikte en iyi ince tabaka kurutma modellerinin 50 °C, 60 °C için Parabolik model, 70 °C için Page modeli olduğu vurgulanmıştır. Bunun yanı sıra taze gilaburu örneklerinde C vitamini içeriği 0,78 g 100 g⁻¹ olarak belirlenirken, 50 °C, 60 °C ve 70 °C’de kurutulmuş örneklerde sırasıyla; 0,35, 0,30 ve 0,24 g 100 g⁻¹ olarak ölçülmüştür. Taze üründe 568,97 mg Gae 100 g⁻¹ olarak ölçülen toplam fenolik içeriğin 50 °C, 60 °C ve 70 °C’de kurutulan örneklerde sırasıyla; 351,46 mg Gae 100 g⁻¹, 233,80 mg Gae 100 g⁻¹ ve 149,96 mg Gae 100 g⁻¹ olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde, taze gilaburu örneklerinin antioksidan aktivitesi 15,08 mmol Te g⁻¹ olarak saptanırken, 50 °C, 60 °C ve 70 °C’de kurutulmuş örnekler için sırasıyla; 2,8 mmol Te g⁻¹ 2,51 mmol Te g⁻¹ ve 2,40 mmol Te g⁻¹ olarak raporlanmıştır.

Çetin vd. (2024) ön işlem uygulanmadan ve %5 askorbik asit çözeltisi, %5 sitrik asit çözeltisi, %5 arap zımkı çözeltisi ve ultrason kullanılarak ön işlem uygulanan Cavendish muz dilimlerinin kalitesi üzerinde 100, 200 veya 300 W’da mikrodalga kurutmanın etkisini araştırmışlardır. Çalışmada muz dilimlerinin görüntüleri dijital tek lensli refleks (SLR) kamera kullanılarak alınmış ve elde edilen görüntüler işlenerek doku parametreleri çıkarılmıştır. Sınıflandırma modelleri, farklı renk kanallarındaki 2172 dokudan oluşan büyük bir veri kümesinden seçilen görüntü doku parametrelerine dayalı olarak yapay sinir ağları kullanılarak geliştirilmiştir. Geniş Sinir Ağı, Çift Katmanlı Sinir Ağı, Orta Sinir Ağı ve RBF (Radyal bazlı fonksiyon) Ağı, Çok Katmanlı Algılayıcı ve WiSARD gibi fonksiyon grubundan üç sınıflandırıcı uygulanmıştır. Sonuç olarak, ön işlem ve mikrodalga kurutmanın farklı kombinasyonlarına sahip 15 sınıfa ait muz dilimleri, Çok Katmanlı Algılayıcı kullanılarak oluşturulan bir model için %97,2’ye varan ortalama doğrulukla ayırt edildiği bildirilmiştir. Buna ilaveten çalışmada, çoğu model için, ön işlem yapılmadan 200 W’da mikrodalgada kurutulan muz örneklerinin yüksek doğrulukla sınıflandırıldığı kaydedilmiştir. Araştırmacılar ön işlem görmüş ve mikrodalgada kurutulmuş muz dilimlerinin objektif, tahribatsız, doğru ve sağlam kalite değerlendirmesinin görüntü işleme ve yapay zekâ kullanılarak gerçekleştirilebileceğini raporlamışlardır.

Günaydın vd. (2024) havuç dilimlerini ultrases, %5 zamk arabik çözeltisi, %5 zamk sakaroz çözeltisi ön işlemlili ve ön işlemsiz olmak üzere 3 farklı mikrodalga gücünde (100, 200, 300 W) kurutmuşlardır. Çalışma, havuç dilimlerinin görüntülerinden yola çıkılarak R, G, B, L, a, b, H, S ve V renk kanallarından sınıflandırma modellerinin araştırılmıştır. Tüm renk kanallarında, Lojistik Model Ağacı, K-en Yakın Komşu ve Rastgele Orman için sırasıyla %96,33, %96,50 ve %97,00 değerleriyle yüksek doğrulukların elde edildiği raporlanmıştır. Ayrıca Karışıklık matrisi, ultrases + 300 W, kontrol + 300 W, sükroz + 300W, sükroz + 200 W kurutulan havuçlar arasında en düşük karışımı göstermiştir. Kurutulmuş havuç dilimleri için en yüksek L, a ve b renk değerlerinin sırasıyla; sükroz + 200 W (75,26), gum arabik + 300 W (30,93) ve gum arabik + 200 W (44,75) olarak elde edildiği vurgulanmıştır. Ayrıca, renk tonu değerleri 17,26 ile 13,27 arasında değişirken, doygunluk değerlerinin 50,93 ile 59,90 arasında değiştiği kaydedilmiştir. Bulgular, ön işlem ve kurutmanın havuç dilimleri üzerindeki etkisinin değerlendirilmesinin makine öğrenimi ve görüntü analizi ile pratik, hızlı ve tahribatsız bir şekilde gerçekleştirilebileceğini ortaya koymuştur.

1.5. Problem Durumu

Gilaburu meyvesi, özellikle Kayseri yöresinde yaygın olarak üretilmektedir. Taze meyvelerin sahip olduğu acımsı tattan ötürü genellikle suda bekletilerek fermente şekilde muhafaza edilmekte ve meyvelerin suyu sıkılarak içilmektedir. Ürünlerin raf ömrünü artırmanın bir yolu olan kurutma işleminin önemi her geçen gün popülaritesini artırmaktadır. Bu sebeple, besin içeriği yüksek olan gilaburu meyvesinin kurutularak muhafaza edilmesi son derece önemlidir. Özellikle gıda kalitesi ve güvenliğinin son yıllarda öneminin artması kurutulmuş ürünlere olan ilgiyi ve talebi artırmıştır. Gilaburu meyvesinin kurutularak saklanması ve tüketilmesi ürün kayıplarını azaltacağı, depolama ve taşıma açısından kolaylık sağlayacağı ve besin değeri açısından daha konsantre olacağı düşünülmektedir. Ayrıca ticari anlamda piyasa değerinin artacağı öngörülmektedir. Taze gilaburu meyveleri kurutulduktan atıştırılabilir şekilde ya da çay olarak tüketilebilir. Kurutulmuş gilaburu çayının tüketiciye daha cazip gelerek popülaritesinin artacağı, yerel ekonomilere ve gıda güvenliğine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

1.6. Araştırmanın Amacı

Bu tez çalışmasının amacı, son yıllarda yaygın olarak tüketilen gilaburu meyvesinin gölgede, konvektif, mikrodalga, hibrit (mikrodalga + konvektif), vakumlu ve dondurarak kurutma yöntemleri ile kurutularak, farklı kurutma yöntemlerinin kurutma kinetiği, renk, kalınlık, büzüşme, rehidrasyon kapasitesi ve biyokimyasal içeriği üzerine etkisinin incelenmesidir. Bununla birlikte, farklı yöntemlerin kurutucu performans değerleri olan enerji tüketimi, özgül enerji tüketimi, özgül nem çekme oranı, enerji etkinliği ve termal verimliliğinin tespit edilerek en efektif kurutma yöntemi önerilmesidir. Ek olarak, kurutulmuş gilaburu meyvelerinin renk özellikleri (R, G, B, L, a, b, H, S, V) görüntü işleme tekniği ile belirlenerek ve makine öğrenmesi modelleriyle farklı kurutma yöntemlerinin ayrımıdır. Buna ilaveten, sadece fermente edilerek tüketilen gilaburunun kurutularak tüketim potansiyelinin belirlenmesidir.

1.7. Araştırmanın Önemi

Acımsı bir tadı olan taze gilaburu meyvesi tüketiciler tarafından çok fazla tercih edilmemektedir. Dolayısıyla, tat, renk ve kalite bakımından tüketiciler tarafından istenen seviyelerde olmadığından ekonomik olarak değerlendirilebilme ihtimali ortadan kalkmaktadır. Gilaburu meyvesinin tarıma kazandırılması açısından en elverişli yöntem kurutmadır. Kurutma sonucunda renk, görünüş ve biyoaktivitesi artan meyvelerin tüketim potansiyeli artacak ve ekonomik anlamda da katma değer sağlayacaktır. Tüketiciler için bir meyvenin rengi, görünüşü ve boyut özellikleri kalite belirteci olarak görülmektedir. Buna ilaveten, biyoaktivite özellikleri meyvelerin iç kalitesini belirlemektedir. Ancak, bu kalite parametrelerinin geleneksel yöntemlerle belirlenmesi oldukça zor ve zaman alıcıdır. Özellikle gilaburu meyvesinde kurutma sonrası renk özelliklerinin birbirine yakın olduğu koşullarda kurutulmuş meyvelerin rengine göre sınıflandırılması kolay olmamaktadır. Dolayısıyla, meyve özelliklerinin yenilikçi yaklaşımlar kullanılarak ele alınması gerekmektedir. Görüntü işleme ve yapay zekâ algoritmaları gibi yenilikçi yaklaşımların kurutulmuş ürünlerin renk kanallarına göre sınıflandırılmasının hem literatüre hem de endüstriye son derece önemli katkılar sağlayacağı öngörülmektedir. Uygun bir şekilde kullanılan yöntem ve algoritmalar sayesinde örnekler renk özelliklerine göre kolayca ayırt edilebilecektir. Ayrıca ticari anlamda piyasa değerinin artacağı öngörülmektedir. Taze gilaburu meyveleri kurutulduktan atıştırmalık şeklinde ya da çay olarak tüketilebilir. Kurutulmuş gilaburu çayının ya da atıştırmalık meyvenin tüketiciye

daha cazip gelerek popülaritesinin artacağı, yerel ekonomilere ve gıda güvenliğine katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Literatürde gilaburu meyvesinin gölgede, vakumlu ve hibrit kurutma yöntemleri ile kurutulduğu çalışmalara rastlanmamıştır. Çalışmamız bu yöntemlerin gilaburu meyve için nihai üründe biyokimyasal özelliklerine, kurutma karakteristiklerine ve kurutucu performans değerlerine etkisinin belirlenerek en efektif kurutma yönteminin önerildiği ilk rapor niteliğindedir. Ayrıca gilaburu meyvesinin renk özelliklerinin görüntü işleme ve makine öğrenmesi ile belirlenerek, kurutma yöntemlerine göre sınıflandırılması konusunda literatürde herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Dolayısıyla gilaburu meyvesinde görüntü işleme ve makine öğrenmesi yaklaşımı çalışmamızın bir diğer yenilikçi yönünü oluşturmaktadır.

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

Bu tez çalışması kapsamında kurutma denemeleri Erciyes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Kurutma Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Taze ve kurutulmuş örneklerde makro ve mikro besin elementi içeriği Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Geliştirme Merkezinde, örneklerle ait biyokimyasal analizler ise Erciyes Üniversitesi Genom ve Kök Hücre Merkezi Bitki ve Hayvan Açık Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Farklı kurutma yöntemlerinin gilaburu meyvesinin kuruma süresine etkisi belirlenerek en uygun ince tabaka kurutma eşitlikleri belirlenmiş ve ayrılabilir nem oranları ile kuruma hızları hesaplanmıştır. Bununla birlikte, taze ve kurutulmuş gilaburu örneklerinde renk, rehidrasyon, kalınlık, tek kütle, fiziksel özellikler tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra kurutucu performans değerlerinden enerji etkinliği hesaplamaları yapılmıştır. Ayrıca görüntü işleme ve farklı makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak kurutulmuş gilaburu meyveleri renk kanallarına göre sınıflandırılmıştır.

2.1. Materyal

Çalışmada kullanılan taze gilaburu meyvelerinin görünümü Şekil 2.1’de verilmiş olup, meyveler Kayseri ili Melikgazi ilçesine bağlı Gesi mahallesinde yerel bir üreticiden temin edilmiştir (38° 45’ 41,4’ N, 35 ° 40’ 50,2’ E). Hasat edilen ürünler tazeliğini koruması amacıyla kurutma işlemi süresince 4±0,5 °C sıcaklıkta laboratuvar tipi buzdolabında muhafaza edilmiştir. Kurutma için içlerinden sağlıklı olanları seçilmiştir.



Şekil 2.1. Çalışmada kullanılan gilaburu meyvesinin genel görünümü

2.2. Çalışmada Kullanılan Kurutucu Ekipmanlar ve Cihazlar

2.2.1. Mikrodalga ve Konvektif Kurutucu

Gilaburu meyvelerinin kurutulmasında mikrodalga ve konvektif özelliklerin aynı anda kullanılabildiği çok fonksiyonlu hibrit bir fırın (KMF 833 W, Arçelik, Turkey) kullanılmıştır. Hibrit fırın 220-240 V ~ 50 Hz (voltaj/frekans) 3,6 kW (toplam elektrik gücü) ve 2465 MHz (mikrodalga frekansı) teknik özelliklerine sahiptir. Fırın hacmi 40 lt ve kurutma alanının hacmi 455 mm x 594 mm x 567 mm'dir. Programlanabilen kurutucu dijital LCD ekran dokunmatik kontrol panosuna sahiptir. Kurutma süresi dijital zaman göstergesi yardımıyla ölçülmüştür. Hibrit fırın 100 W ile 900 W mikrodalga çıkış gücü aralığında 9 farklı mikrodalga güç seviyesinde çalışabilmektedir. Ayrıca fırın, 40 °C'den 280 °C'ye kadar olan tüm hava sıcaklıklarında çalışabilme özelliğine sahiptir. Çalışmada kullanılan hibrit fırının görüntüsü Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2. Hibrit Fırın

2.2.2. Vakumlu Kurutucu

Gilaburu meyvelerinin vakumlu kurutma yöntemi ile kurutulmasında 30 litre hacimli (MVE, Miprolab, Türkiye) vakumlu kurutucu kullanılmıştır. Vakumlu kurutucu +5 °C'den 250 °C'ye kadar olan tüm hava sıcaklıklarında çalışabilmekte ve basınç değeri 100 mmHg'den 600 mmHg'ya kadar olan basınç değerlerine ayarlanabilmektedir. Cihaz üzerinde sıcaklık ve zaman kontrolünün kolaylıkla yapılabilirdiği LCD ekran ve basınç kontrolünün yapıldığı analog manometre bulunmaktadır. Ayrıca yeni hava girişi ve vakum kırma için 2 adet valf yer almaktadır. Kurutucu içerisinde kurutma materyallerinin yerleştirildiği 2 adet tepsi bulunmaktadır. Vakumlu kurutucu Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.3. Vakumlu kurutucu

2.2.3. Liyofilizatör

Dondurarak kurutma işlemleri liyofilizatör (Christ Alpha 2-4 LSC Plus, Germany) ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan liyofilizatör Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4. Liyofilizatör

2.2.4. Etüv

Gilaburu meyvesinin ilk nem içeriğinin belirlenmesinde kullanılan etüv (Memmert UN55, Almanya) Şekil 2.5'te sunulmuştur.



Şekil 2.5. Etüv

2.2.5. Hassas Terazî

Gilaburu örneklerinin kurutma işleminden önceki ve kurutma süresince kütleleri 0.01 gram hassasiyetli terazi (WL6002, WeightLab, Türkiye) ile ölçülmüştür. Cihaz 6000 g kapasiteli ve kefe boyutu 168 x 168 mm'dir. Çalışmada kullanılan hassas terazin görüntüsü Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6. Hassas terazi

2.2.6. Renk Ölçer

Taze ve kurutulmuş gilaburu meyvelerinin renk ölçümleri noktasal ölçüm yapan bir renk ölçer ile (PCE-CSM 5 PCE Instruments, Almanya) belirlenmiştir. Cihaz tek seferde standart 100 adet ölçüm yapmaktadır. Renk özellikleri CIELAB renk uzayında ortaya konulmaktadır. Portatif cihaz renk parametrelerinden L^* , a^* ve b^* herhangi bir hesaplama gerektirmeksizin direkt olarak ölçmektedir. Taze ve kurutulmuş gilaburu örneklerinin renk özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan renk ölçüm cihazı Şekil 2.7'de verilmiştir.



Şekil 2.7. Renk ölçer

2.2.7. Spektrofotometre

Biyokimyasal analizler UV-VIS Spektrofotometre (PEAK Instruments C-7100, UV/VIS, Germany) ile belirlenmiştir. Cihazın dalga boyu aralığı 190-1100 nm olup, tek ışık yollu optik sisteme sahiptir. Spektrum (tarama), miktar tayini, kinetik ölçüm, çoklu bileşen miktar tayini, protein miktar tayini gibi farklı modlarda fotometrik ölçüm yapabilmektedir. Spektrofotometre cihazı Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Spektrofotometre

2.2.8. ICP-MS Analiz Cihazı

Taze ve kurutulmuş gilaburu örneklerinin makro ve mikro besin elementi analizlerinin yapıldığı cihaz (Agilent 7900 ICP-MS, ABD) Şekil 2.9’da verilmiştir.



Şekil 2.9. ICP-MS Cihazı

2.2.9. Santrifüj Cihazı

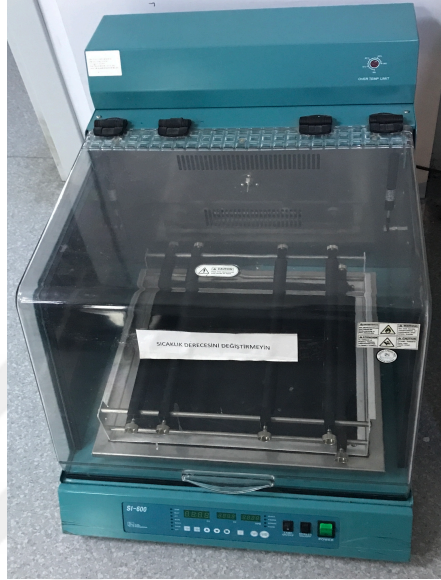
Gilaburu ekstraktlarının çıkartılmasında kullanılan soğutmalı santrifüj cihazı (Sigma 2-16KL, Germany) Şekil 2.10’da verilmiştir.



Şekil 2.10. Santrifüj cihazı

2.2.10. Çalkalayıcı

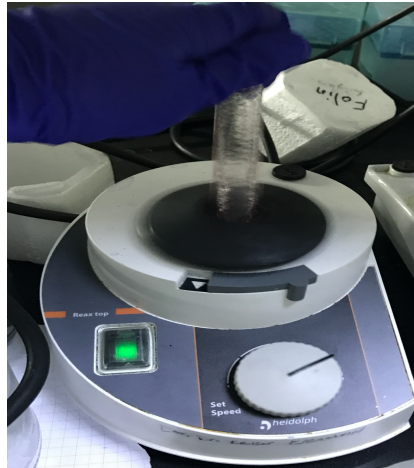
Taze ve kurutulmuş gilaburuların ekstraktlarının çıkartılmasında kullanılan alkalayıcı (SI 600R, Spain) Şekil 2.11’de verilmiştir.



Şekil 2.11. Çalkalayıcı

2.2.11. Vorteks Cihazı

Gilaburu rneklerinin biyokimyasal analizlere hazırlanmasında kullanılan vorteks cihazı (Heidolph Reax Top, Schwabach, Germany) aşağıda Şekil 2.12’de verilmiştir.



Şekil 2.12. Vorteks cihazı

2.2.12. Refraktometre ve Katı Meyve Sıkacağı

Gilaburu örneklerinin °Briks değerleri (suda çözünür kuru madde miktarı) 0-32° Briks aralığında ölçüm yapan dijital refraktometre ile (Milwaukee, Romania) belirlenmiştir. Gilaburu meyvelerinin suda çözünen katı madde miktarının ölçülmesinde ürünlerin sıvı forma dönüştürülmesi işlemi katı meyve sıkacağı (Arzum AR1060 Multivit, Türkiye) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan refraktometre ve katı meyve sıkacağı Şekil 2.13'te verilmiştir.



Şekil 2.13. Refraktometre (a), Katı meyve sıkacağı (b)

2.2.13. pH metre

Taze ve kurutulmuş gilaburu meyvelerine ait pH değerlerinin ölçülmesinde kullanılan pH metre cihazı OHAUS ST 300 pH-G Şekil 2.14'te verilmiştir.



Şekil 2.14. pH metre

2.2.14. Kumpas

Taze ve kurutulmuş gilaburu örneklerinin kalınlık ölçümleri dijital ekranlı kumpas (Mitutoyo 500-181-30, Japonya) ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan kumpas Şekil 2.15'te verilmiştir.



Şekil 2.15. Kumpas

2.2.15. Öğütücü

Kurutulmuş gilaburu örneklerinin biyokimyasal analizlerinin yapılabilmesi için bir öğütücüde (Kiwi KSPG 4812, Türkiye) öğütülmüştür. Çalışmada kullanılan öğütücünün görünümü Şekil 2.16'da verilmiştir.



Şekil 2.16. Öğütücü

2.3. Yöntem

2.3.1. Kurutma Yöntemleri

Kurutma çalışmaları için yıkanıp kurulan gilaburu meyveleri içlerinden sağlıklı olanları seçilip her bir deneme için 50.00 ± 0.05 g olacak şekilde tartılmıştır. Gilaburu meyvelerinin kurutulmasında kullanılan kurutma yöntemleri aşağıda sıralanmıştır;

- Gölgede Kurutma Yöntemi
- Konvektif Kurutma Yöntemi
- Mikrodalga Kurutma Yöntemi
- Hibrit Kurutma Yöntemi (Konvektif + Mikrodalga)
- Vakumlu Kurutma Yöntemi
- Dondurarak Kurutma Yöntemi

Gölgede kurutma işlemleri 25 ± 1 °C sıcaklıkta gölge bir alanda (güneş almayan bir ortamda) gerçekleştirilmiştir. Mikrodalga kurutma işlemi 100 W mikrodalga gücünde, hibrit kurutma işlemleri 100 W+ 70 °C, 100 W+ 80 °C ve 100 W+ 90 °C mikrodalga gücünde ve hava sıcaklıklarında yapılmıştır. Konvektif kurutma işlemleri 70 °C, 80 °C ve 90 °C hava sıcaklıklarında yürütülmüştür. Dondurarak kurutma işlemi -80 °C’de gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte, vakumlu kurutma yönteminde 80 °C + 200 mmHg ve 80 °C + 400 mmHg sıcaklık ve basınç uygulamaları kullanılmıştır. Kurutma işlemleri 3 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiş olup, kütle azalimleri gölgede kurutma için her 8 saatte bir, konvektif kurutmada 70 °C, 80 °C ve 90 °C hava sıcaklıkları için sırasıyla; her 60, 45 ve 30 dakikada bir ölçülmüştür. Mikrodalga kurutma yönteminde ürünlerin kütle azalimleri her 8 dakikada bir, hibrit kurutma yönteminde 100 W+ 70 °C, 100 W+ 80 °C ve 100 W+ 90 °C için sırasıyla; her 6, 4 ve 2 dakikada bir belirlenmiştir. Vakumlu kurutma tekniğinde kütle azalimleri 80 °C + 200 mmHg ve 80 °C + 400 mmHg sıcaklık ve basınç uygulamaları için sırasıyla; her 45 ve 30 dakikada bir ölçülmüştür. Örneklerin kütle azalimleri 0,01 gram hassasiyetli terazi (WL6002, WeightLab, Türkiye) ile

tartılmıştır. Örneklerin hava ile temasını en aza indirmek için kütle azalımı tartım işlemleri 10 s içerisinde tamamlanmıştır.

2.3.2. Nem İçeriğinin Belirlenmesi

Gilaburu örneklerinin ilk nem içeriği, Çetin (2022b) tarafından belirtilen yöntemle göre hesaplanmıştır. Bu kapsamda, örnekler 48 saat süre ile 70 °C’de etüvde bekletilmiş ve ürünlerin etüve konulmadan önceki ve etüvden alındıktan sonraki kütleleri baz alınarak kuru baza göre ve yaş baza göre nem içerikleri sırasıyla aşağıda verilen eşitlikler ile belirlenmiştir. Gilaburu örneklerinin etüve konulmadan önceki ve etüv sonrası görüntüleri Şekil 2.17’de verilmiştir.

$$M_{y0} = \frac{(W_0 - W_k)}{W_0} \times 100 = \frac{W_s}{W_0} \times 100 \quad (2.3.2.1)$$

$$M_{k0} = \frac{(W_0 - W_k)}{W_k} = \frac{W_s}{W_k} \quad (2.3.2.2)$$

Burada; M_{y0} : materyalin yaş baza göre ilk nem içeriği (%), M_{k0} : materyalin kuru baza göre ilk nem içeriği ($\text{kg}_{\text{su}} \text{kg}_{\text{KM}}^{-1}$), W_0 : numunelerin ilk ağırlığı (kg), W_k : numunelerin kuru ağırlığı (kg) W_s : numunelerdeki su ağırlığıdır (kg).



Şekil 2.17. Gilaburu örneklerinin etüve konulmadan önceki ve sonraki görüntüleri

2.3.3. Ayrılabilir Nem Oranının Hesaplanması (ANO)

Ayrılabilir nem oranı herhangi bir t zamanında üründen uzaklaşabilen nem miktarının ilk nem içeriğine oranıdır. Ayrılabilir nem oranı aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Soysal 2004);

$$ANO = \frac{M}{M_0} \quad (2.3.3.1)$$

Burada: MR : Ayrılabilir nem oranı (birimsiz), M : herhangi bir zamandaki nem içeriği ($\text{kg}_{\text{su}} \text{kg}_{\text{KM}}^{-1}$), M_0 : ürünün ilk nem içeriğidir ($\text{kg}_{\text{su}} \text{kg}_{\text{KM}}^{-1}$)

2.3.4. Kuruma Hızının Hesaplanması

Nem içeriğine bağlı kuruma hızı aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (Doymaz vd., 2006);

$$DR = \frac{M_{t+dt} - M_t}{d_t} \quad (2.3.4.1)$$

Burada; DR : kuruma hızı ($\text{kg}_{\text{su}} \text{kg}_{\text{KM}}^{-1} \text{dk}^{-1}$), M_{t+dt} : $m+dt$ zamandaki nem içeriği ($\text{kg}_{\text{su}} \text{kg}_{\text{KM}}^{-1}$), M_t : t anındaki nem içeriği ($\text{kg}_{\text{su}} \text{kg}_{\text{KM}}^{-1}$), d_t : kurutma periyodunda nem içeriğinin hesaplandığı zamandır (dk)

2.3.5. Veri Analizi

Çalışma tesadüfî deneme deseni tekniğine göre kurulmuş ve tüm denemeler 3 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Renk ölçümleri ise 20 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Verilerin ortalamaları ve standart hata değerleri SPSS 14.0 istatistik programı kullanılarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında literatürde daha önce tanımlanmış olan deneysel, yarı deneysel ve teorik olmak üzere 12 farklı ince tabaka kurutma modeli kullanılmıştır. Kullanılan bu 12 farklı ince tabaka kurutma eşitliği Tablo 2.1’de verilmiştir. Bu eşitliklerden yola çıkılarak Sigmaplot 15.0 istatistik programı kullanılarak zamana bağlı deneysel ayrılabilir nem içeriği verileri belirlenerek tahmin verileri hesaplanmıştır.

Tablo 2.1. Gilaburu meyvelerinin kurutulmasında kullanılan matematiksel modeller

Model Adı	Model Eşitliği	Referanslar
Alibas	$M_R = a \exp((-kt^n) + (bt)) + g$	Alibas, 2012
Logistic	$M_R = a_0 / (1 + a \exp(kt))$	Ertekin & Firat, 2017
Jena Das	$M_R = a \exp(-kt + b\sqrt{t}) + c$	Jena ve Das, 2007
Geliştirilmiş Logistic	$M_R = a / (1 + \exp(-4*k*(1-t)/a+2))$	Moate vd., 2004
Newton	$M_R = \exp(-kt)$	Lewis, 1921
Page	$M_R = \exp(-kt^n)$	Page, 1949
Wang ve Singh	$M_R = 1 + at + bt^2$	Mohapatra & Rao, 2005
Henderson ve Pabis	$M_R = a \exp(-kt)$	Henderson ve Pabis, 1961
Verma	$M_R = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-gt)$	Verma vd., 1985
Yağcıoğlu	$M_R = a \exp(-kt) + c$	Yagcioglu vd., 1999
Weibull dağılımı	$M_R = a - b \exp[-(kt^n)]$	Babablis vd., 2006
Difüzyon yaklaşımı	$M_R = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kbt)$	Kassem, 1998

M_R , nem oranı; a, b, c, g, h , katsayılar; t , kurutma süresi, (d); n , kurutma parametresi; k , kurutma sabitleri, (min^{-1}) L_k , materyalin kalınlığı (mm).

R^2 (Regresyon katsayısı) ve SEE (tahminin standart hata) değerleri ile ince tabaka kurutma eşitliklerine ilişkin kurutma sabit ve katsayıları SİGMAPLOT 15.0 istatistik programı ile belirlenmiştir. OKH (Ortalama karesel hata) ve χ^2 (tahminin ki kare değeri) sırasıyla aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır;

$$OKH = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (M_{R_{pre,i}} - M_{R_{exp,i}})^2}{N}} \quad (2.3.5.1)$$

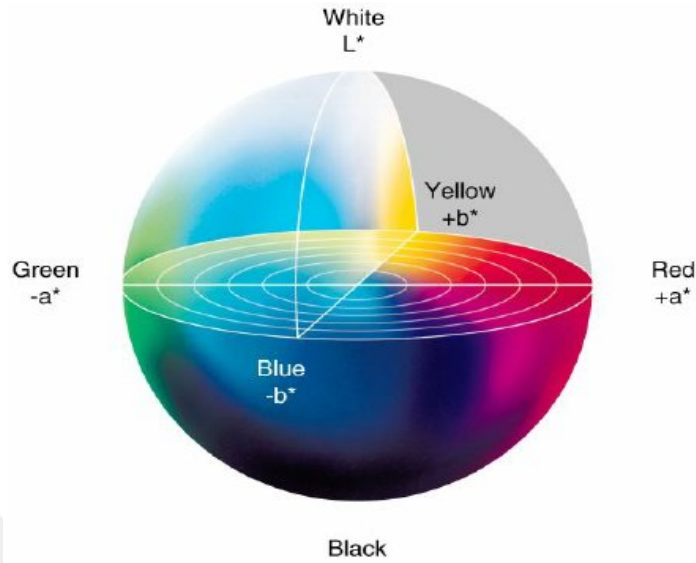
$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (M_{R_{exp,i}} - M_{R_{pre,i}})^2}{N - n_i} \quad (2.3.5.2)$$

Burada; OKH : Ortalama karesel hata, χ^2 : Tahminin ki kare değeri, $M_{Rexp,i}$: Deneysel ayrılabilir nem oranı, $M_{Rpre,i}$: Modelin tahmin ettiği ayrılabilir nem oranı, N : Gözlem sayısı, n_i : kurutma sabit ve katsayıların toplamıdır.

Deneysel bulgulara paralel tahmin modelinin belirlenmesinde R^2 (regresyon kat sayısı) en önemli parametredir. Regresyon kat sayısının sayısal değerinin olabildiğince 1,000'e yakın olması gerekmektedir. Öte yandan, SEE (tahminin standart hatası) değeri en başarılı matematiksel modelin seçiminde ikinci önemli kriter olarak rol oynamaktadır. Bu değer 0,000'a yakın olması istenmektedir. Tahminin standart hata değeri ve regresyon kat sayısının paralellik göstermesi durumunda OKH (ortalama karesel hata) ve χ^2 (tahminin ki kare değeri) değerlerine bakılmaktadır. OKH ve χ^2 parametrelerinin sayısal değerinin 0,000'a yakın olması gerekmektedir.

2.3.6. Renk Ölçüm Yöntemi

Taze ve kurutulmuş gilaburu meyvelerinin renk parametreleri noktasal ölçüm yapan bir renk ölçüm cihazı ile (PCE-CSM 5 PCE Instruments, Almanya) belirlenmiştir. Renk parametrelerinden L^* , a^* , b^* ve C renk ölçüm cihazı ile ek bir hesaplama gerektirilmeden direkt olarak ölçülmüştür. Renk okumaları 20 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Parlaklığın bir göstergesi olan L^* parametresi ürün renginin açıklığını veya koyuluğunu ifade etmektedir. L^* parametresinin sayısal değeri 0-100 aralığında değişmekte olup, 0 siyah rengin, 100 ise beyaz rengin göstergesidir. Bu değer 0'a yaklaşması ürün renginin koyulaştığını, 100'e yaklaşması ise ürün renginin açıldığını göstermektedir (Günaydın, 2020). Ürün renginin yeşilliği ya da kırmızılığını a^* parametresi temsil etmektedir. Bu parametrenin sayısal değerindeki mutlak pozitif artış rengin kırmızıya yaklaştığını, negatif artış ise yeşilliğin arttığını ifade etmektedir. Benzer şekilde rengin sarılık veya maviliğini ifade eden b^* parametresindeki pozitif değerler sarı rengi, negatif değerler mavi rengi tanımlamaktadır. Bu parametrenin pozitif ve negatif değerlerindeki sayısal artıştan sarılık ya da maviliğin arttığı anlaşılmaktadır. Bir diğer renk parametresi olan C (kroma) değeri ürün renginin mat ya da canlı tonlarıyla ilgili bir belirteçtir. Kroma değerinin sayısal değeri 0-100 arasında değişmektedir. Bu değer 100'e yaklaşması canlı renk tonlarını, 0'a yaklaşması ise pastel renk tonlarını ifade etmektedir (Agudo vd., 2014). Renk parametrelerine karşılık gelen renk açısı değerleri Şekil 2.18'de verilmiştir.



Şekil 2.18. Renk açısı (Agudo vd., 2014)

Toplam renk değişimi (ΔE) ürünlerin kurutma işleminden ne derecede etkilendiğinin anlaşılmasında oldukça önemli bir parametredir. Çalışma kapsamında gilaburu örneklerinin toplam renk değişimi aşağıda verilen eşitlik ile hesaplanmıştır (Polatçı vd., 2020);

$$\Delta E = \sqrt{(L_t - L_k)^2 + (a_t - a_k)^2 + (b_t - b_k)^2} \quad (2.3.6.1)$$

Burada; t indisi taze ürünün, k indisin kurutulmuş ürünün renk değerlerini ifade etmektedir.

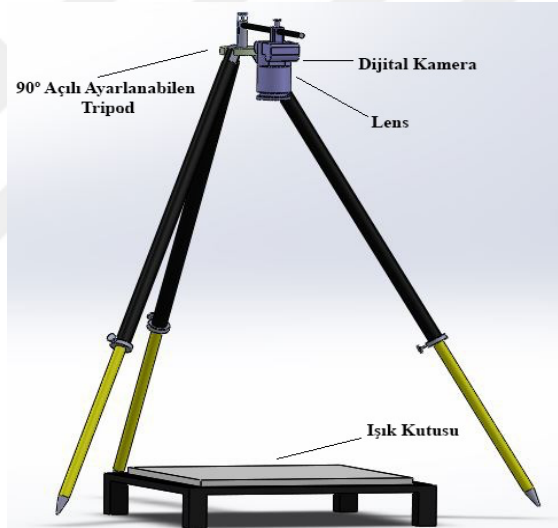
Kurutma işleminin ürüne olan etkisini belirlemede yararlanılan bir diğer parametre kahverengileşme indeksidir (BI). Kahverengileşme indeksi sırasıyla aşağıda verilen eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır (Polatçı vd., 2020);

$$x = \frac{a + (1.75 \times L)}{[(5.645 \times L) + (a - (3.012 \times b))]} \quad (2.3.6.2)$$

$$BI = \frac{[100 \times (x - 0.31)]}{0.17} \quad (2.3.6.3)$$

2.3.7. Görüntülerin İşlenmesi ve Makine Öğrenmesi

Kurutulmuş gilaburu meyvelerinin renginde meydana gelen değişimleri tespit etmek amacıyla görüntü işleme tekniği kullanılmıştır. Görüntülerin elde edildiği sistem dijital CCD (Charge-Coupled Device) kamera (Nikon D5600, Japonya), odak aralığı 18-140 mm olan lens (Nikon AF-S Nikkor, Japonya), 90° açığa ayarlanabilen bir adet tripod (Slik Able 300HC Pro, Japonya), LED aydınlatmalı fotoğraf çekme çadırından oluşmaktadır. Gilaburu örnekleri fotoğraf çekme çadırının içerisindeki beyaz fiberglas plaka üzerine tek tek yerleştirilmiştir. Plaka üzerine yerleştirilen tek tabaka halinde yerleştirilmiş ürünlerin görüntüleri 50 cm yükseklikte dikey konumdan alınmıştır (Çetin, 2021). Fotoğrafi çekme düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 2.19’da verilmiştir.



Şekil 2.19. Fotoğraf çekme düzeneği

Farklı kurutma tekniklerine tabi tutulmuş gilaburu örneklerinin, geleneksel ve hibrit kurutma yöntemleri kendi aralarında R, G, B, L, a, b, H, S ve V renk kanallarına göre makine öğrenmesi modelleri ile WEKA yazılımı kullanılarak sınıflandırılmıştır. Çalışmada, renk özelliklerine ait geleneksel yöntemler için 4320 veri ve hibrit yöntemler için 3600 veri olmak üzere toplam 7920 veri kullanılmıştır. Veri ön işleme aşamasında öznitelik seçimi ve veri normalleştirme işlemi uygulanmamış ve ham veriler kullanılmıştır. Her bir uygulama ve algoritma için veriler düzenlenmiş ve yapılandırılarak model için hazır hale getirilmiştir. Bu çalışmada, rastgele orman (RF), k-en yakın komşu (kNN), destek vektör makinesi (SVM), torbalama (BAG), naive bayes (NB), karar ağaçları (DT), azaltılmış hata budaması (REPTree), naive bayes ağları (BayesNet),

lojistik model ağacı (LMT) ve çok katmanlı algılayıcı-yapay sinir ağı (MLP) olmak üzere 10 farklı makine öğrenmesi algoritması kullanılmıştır. Modellerin veri bölümlleme işlemi için k-katlı çapraz doğrulama prosedürü uygulanmıştır (Ropelewska vd., 2023). Bu çalışmada k katlı değer 10 olarak seçilmiştir. Modellere ilişkin önemli parametreler şu şekildeydi: SVR için, çekirdek fonksiyonu Pearson VII (PUK), k-NN için k değeri 5 ve arama sürecinde Öklid uzaklık kuralı uygulandı, REPTree modeli için varyansın minimum oranı 0,001, RF ve BAG modelleri için yineleme sayısı sırasıyla 100 ve 10, DT için güven faktörü 0,25, BayesNet için basit tahminleyici tipi ve K2 arama algoritması, LMT için minimum düğümdeki örnek sayısı 15 olarak seçilmiştir. Buna ilaveten, MLP modeli için öğrenme oranı, momentum katsayısı ve döngü sayısı değerleri sırasıyla 0.2, 0,1 ve 500, aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid kullanılırken, ağ yapısı 9-5-1 şeklinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada modellerin performanslarını değerlendirmek amacıyla;

Renk kanallarına ve renk uzayına göre sınıflandırma sonuçları, karışıklık matrisi, doğruluk değeri ve performans ölçütleri ile değerlendirilmiştir. Doğruluk (A_c), Doğru Pozitif Oranı (TPR), Yanlış Pozitif Oranı (FPR), Kesinlik (P), F-Ölçütü (F), MCC (Matthews korelasyon katsayısı), ROC (Alıcı İşlem Karakteristiği) alanı ve PRC (Kesinlik–Duyarlılık) alanı değerleri sırasıyla aşağıdaki eşitlikler ile hesaplanmıştır (Ropelewska ve Szwejda-Grzybowska, 2021);

$$A_c = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN} \quad (2.3.7.1)$$

$$TPR = TP / (TP + FN) \quad (2.3.7.2)$$

$$FPR = FP / (FP + TN) \quad (2.3.7.3)$$

$$P = (TP / TP + FP) \quad (2.3.7.4)$$

$$F = 2TP / (2TP + FP + FN) \quad (2.3.7.5)$$

$$MCC = \frac{(TP * TN) - (FN * FP)}{\sqrt{(TP + FN) * (TN + FP) * (TP + FP) * (T + FN)}} \quad (2.3.7.6)$$

Burada, FN yanlış negatif, FP yanlış pozitif, TN doğru negatif ve TP doğru pozitif sayılarını ifade etmektedir.

2.3.8. Biyokimyasal Özelliklerin Belirlenmesi

Taze ve kurutulmuş gilaburu örneklerinin biyokimyasal analizleri, Erciyes Üniversitesi Gevher Nesibe Genom ve Kök Hücre Merkezi Bitki ve Hayvan Açık Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

2.3.8.1. Ekstraksiyon İşlemi

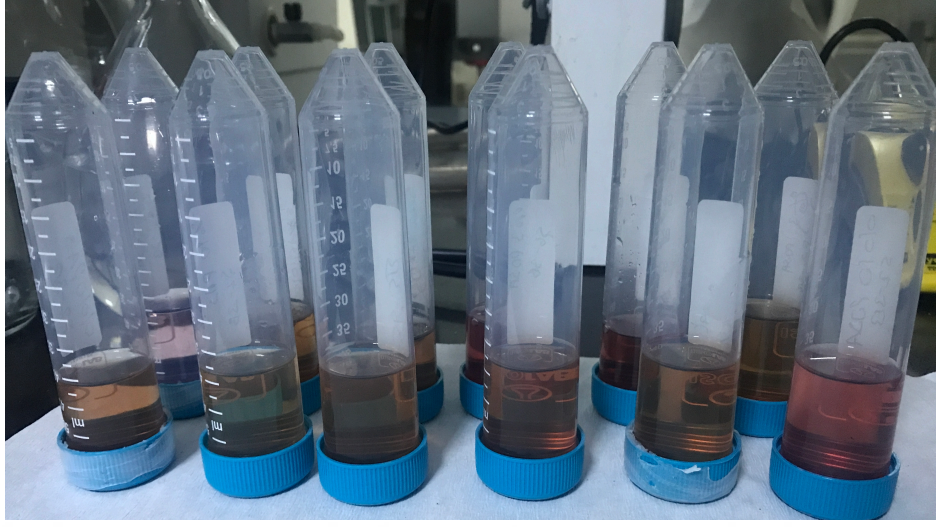
Taze ve kurutulan gilaburu meyvelerinde C vitamini, antosiyanin, antioksidan ve fenolik içeriğinin belirlenmesi için ilk olarak gilaburu ekstraktı çıkartılmıştır. Bu kapsamda, %80'lik metanol ve %1'lik asetik asit çözeltisi hazırlanmıştır. Daha sonra 1 g öğütülmüş örnek üzerine 30 ml hazırlanan bu çözeltiden eklenmiştir. Çözelti ilave edilmiş örnekler çalkalayıcıya yerleştirilmiş ve 1 saat süre ile çalkalama işlemi yapılmıştır. Bu işlemin ardından örnekler 10 dakika süre ile 4000 rpm'de santrifüjlenmiş ve 0,45 µm şırınga filtreden süzölmüştür. Elde edilen filtrat biyokimyasal analizlerde kullanılmıştır. Gilaburu ekstraktının çıkartılması aşamaları Şekil 2.20, Şekil 2.21, Şekil 2.22, Şekil 2.23 ve Şekil 2.24'te verilmiştir.



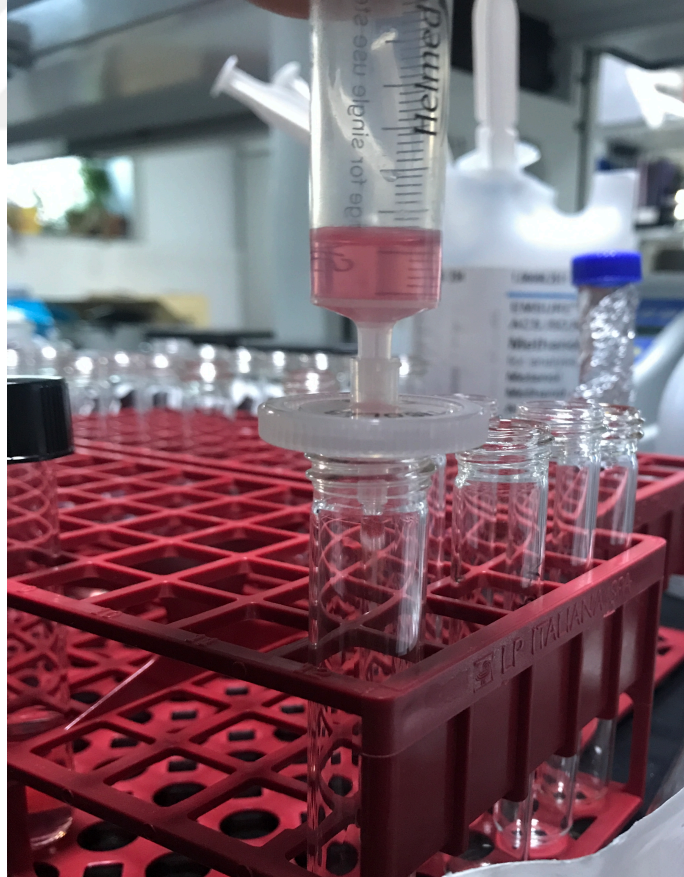
Şekil 2.20. Çalkalama işlemi



Şekil 2.21. Santrifüjleme işlemi



Şekil 2.22. Çalkalama ve santrifüj işlemi sonrası ekstraktların görünümü



Şekil 2.23. Ekstraktları filtreleme işlemi



Şekil 2.24. Filtrasyon sonrası ekstraktların görünümü

2.3.8.2. Toplam Antosiyanin Madde Miktarının Belirlenmesi

Taze ve kurutulmuş gilaburu meyvelerinin toplam antosiyanin içeriği Fuleki ve Francis (1968) tarafından önerilen pH diferansiyel yöntemi ile belirlenmiştir. Bu yöntemde, antosiyanin pigmentlerinin ortamın pH değerlerine göre renk değişimleri dikkate alınmaktadır. Numunelerin maksimum absorbans verdiği dalga boylarında farklı pH değerlerindeki ölçümler arasındaki fark, örneğin antosiyanin içeriği ile doğru orantılıdır. Bu bağlamda 1'er ml ekstrakt üzerine 0,02M Na₂HPO₄ ve 0,02 M NaH₂PO₄ ile hazırlanmış pH 1,0 ve pH 4,5 tamponları eşzamanlı olarak ilave edilmiş ve oda sıcaklığında karanlık ortamda 30 dakika inkübasyona bırakılmıştır. Ardından tüm örneklerin absorbans değerleri eş zamanlı olarak 510 nm ve 700 nm dalga boylarında okunmuştur. Toplam antosiyanin miktarı aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır;

$$\text{Antosiyanin (mg kg}^{-1}\text{): } (\Delta A / \epsilon * L) 103 * MW * SF \quad (2.3.8.2.1)$$

Burada; ΔA : Absorbans farkı ($A = ((A_{510\text{nm}} - A_{700\text{nm}}) \text{ pH } 1.0) - ((A_{510\text{nm}} - A_{700\text{nm}}) \text{ pH } 4.5))$,
 ϵ : Molar absorbans, L: Absorbans ölçüm küvetinin tabaka kalınlığı (=1), MW : Molekül ağırlığı, SF : Seyreltme faktörü

2.3.8.3. C Vitamini Analizi

Gilaburu örneklerinin C vitamini analizi (askorbik asit tayini) Shin vd. (2019) tarafından önerilen yöntem baz alınarak yapılmıştır. Bu amaçla, 0,5 ml sıvı ekstrakt üzerine 0,5 ml %7,5 trikloroasetik asit solüsyonu ilave edilmiştir. Elde edilen karışım 4 °C'de 5 dakika bekletildikten sonra 4.5 µm filtreden süzölmüştür. Daha sonra, 0.2 mL filtrat, 2 ml damıtılmış su ve 0.2 ml Folin-Ciocalteu reaktifi (1:10 vv⁻¹) ile karıştırılmıştır. Elde edilen çözelti oda sıcaklığında (20±1°C) karanlıkta 10 dakika inkübasyona bırakıldıktan sonra 760 nm'de spektrofotometrede absorbans okumaları yapılmıştır.

2.3.8.4. Toplam Fenolik Madde Miktarının Belirlenmesi

Taze ve kurutulmuş gilaburu örneklerinin toplam fenolik madde içerikleri Singleton ve Rossi (1965) tarafından önerilen yöntemde kısmi değişiklikler uygulanarak tespit edilmiştir. Bu kapsamda, 0,2 ml sıvı ekstrakt üzerine 1,8 ml saf su ilave edildikten hemen sonra üzerine 1 ml seyreltilmiş (1:10) Folin Ciocalteu ayırıcı eklenmiştir. 5 dakika bekletildikten sonra örneklere 2 ml %2'lik Na₂CO₃ eklenmiştir. Bu işlemin hemen ardından tüplerin ağzıları sıkıca kapatılıp vortekslendikten sonra karanlık ortamda 2 saat boyunca inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonunda örneklerin absorbans değerleri spektrofotometre ile köre karşı okunmuştur. Gilaburu örneklerine ait toplam fenolik madde miktarları farklı konsantrasyonlarda gallik asit ile belirlenen standart bir eğri kullanılmış ve elde edilen veriler, mg GAE g⁻¹ kuru örnek olarak hesaplanmıştır.

2.3.8.5. Antioksidan Kapasitesinin Belirlenmesi

Gilaburu örneklerinin antioksidan kapasitesi DPPH ve ABTS⁺ radikali yöntemlerine göre belirlenmiştir. Taze ve kurutulmuş gilaburu örneklerinin DPPH (2,2- Diphenyl-1-picrylhydrazyl) radikali süpürme aktivitesi Faller ve Fialho (2009) tarafından bildirilen yöntem dikkate alınarak tespit edilmiştir. Bu amaçla 100 µL ekstrakt, 3900 µL DPPH radikal solüsyonu (0,1 mM metanolde) ile karıştırılmış ve ağzıları sıkıca kapatıldıktan sonra vortekslenmiştir. Bu aşamadan hemen sonra 30 dakika boyunca oda sıcaklığında (20-25 °C) ve karanlık ortamda inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon süresi sonunda örneklerin absorbans değerleri UV-vis spektrofotometrede 517 nm dalga boyunda kaydedilmiştir ve örneklerin DPPH radikali süpürme aktivitesi, ölçülen absorbans değerlerinin aşağıdaki denklemde yerine konması ile % inhibisyon olarak hesaplanmıştır;

$$\% \text{ InhDPPH} = [(Abs_{Kontrol} - Abs_{\text{Örnek}}) / Abs_{Kontrol}] \times 100 \quad (2.3.8.5.1)$$

DPPH radikalinin %50'sini inhibe etmek için gerekli olan örnek konsantrasyonu (IC50), farklı oranlarda hazırlanmış olan ekstraktların %inhibisyon değerlerinin ekstrakt konsantrasyonuna karşı çizilecek kalibrasyon eğrisinden faydalanılarak hesaplanmıştır. Denemeler iki tekerrür ve beş paralel olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

Örneklerin ABTS⁺ radikali süpürme aktivitesi Wettasinghe vd. (2002)'ye göre belirlenmiştir. 7 mmol ABTS⁺ bir miktar suda çözüldükten sonra 2,45 mmol potasyum persülfat ile muamele edilerek hacmine tamamlanmıştır. Elde edilen bu karışım daha sonra oda sıcaklığında 16 saat süreyle koyu mavi renk oluşana kadar bekletilerek analize hazır hale getirilmiştir. Koyu mavi renkli bu çözelti, tampon çözelti (pH 7,4) ile absorbansı 734 nm de 0,7 olana kadar seyreltilmiştir. Daha sonra bu seyreltilmiş çözeltiden 2 mL (ABTS⁺ çözeltisi) alınarak 100 µL uygun oranlarda (1:30) seyreltilmiş örnek ekstresi ile karıştırılmış ve 6 dakikalık inkübasyon süresi sonunda absorbans değerleri UV-vis spektrofotometre ile 734 nm'de ölçülmüştür. ABTS⁺ radikal katyonundaki azalma yüzde olarak aşağıdaki denkleme göre hesaplanmış ve daha sonra farklı konsantrasyonlarda hazırlanmış olan trolox ile oluşturulmuş kalibrasyon eğrisi kullanılarak sonuçlar TEAC (Trolox eşdeğer antiradikal kapasite) olarak verilmiştir. Denemeler iki tekerrür ve beş paralel olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

2.3.8.6. Makro ve Mikro Besin Elementi Analizleri

Numuneden 0.15-0.20 gr alınarak üzerine 9ml HNO₃ ve 1 ml H₂O₂ eklendikten sonra mikrodalga çözünürleştiricide (kapalı sistem) yaş yakma yöntemine göre sıcaklık ve basınç programı uygulanmıştır. Elde edilen berrak çözeltiler alınarak saf su ile 25 ml ye seyreltilmiştir. Analiz öncesinde analizi yapılacak elementleri içeren bilinen derişimlerde (0, 1, 5, 10, 20, 30, 40, 50 ppb) standartlar hazırlanmıştır. Cihazın ölçüm parametrelerini kontrol etmek için cihazdan tune çözeltisi (200 ppb Li, Yb, Cs) geçirilerek performans ayarı yapılmıştır. Cihazın performansı tune çözeltisi ile kontrol edildikten sonra analizi yapılacak elementleri içeren metot seçilerek önce standartlar cihaza tanıtılmıştır. Daha sonra çözünürleştirilerek seyreltilen numunelerin analizine geçilmiştir. Analizler sırasında tüm periyodik tabloyu temsilen analiz edilecek elementlerin dışında 200 ppb lik

iç standart elementlerini içeren çözelti (Sc, In) cihaza verilmiştir. Çözünmüş örnekler Agilent marka 7900 model ICP MS cihazında analiz edilmiştir.

2.3.9. Rehidrasyon Kapasitesinin Belirlenmesi

Farklı yöntemlerle kurutulan gilaburu meyvelerinin rehidrasyon kapasitesi, Pinar vd. (2021) tarafından belirlenen yöntemle göre hesaplanmıştır. Bu amaçla, yaklaşık 2,5-3'er g tartılmış olan kurutulmuş gilaburu örnekleri 100 ml saf suda, oda sıcaklığında 8 saat bekletilmiştir. Bu süre sonunda saf suyun içinden alınan örneklerin dış yüzeyinde biriken absorbe edilemeyen suyun üründen uzaklaştırılması için örnekler 30 dakika boyunca filtre kağıdının üzerinde bekletilmiştir. Ürünlerin rehidrasyon kapasitesi aşağıdaki eşitlik (RK) kullanılarak hesaplanmıştır;

$$RK = \frac{m_2}{m_1} \quad (2.3.9.1)$$

Burada; m_1 , kurutma öncesi ürün ağırlığı, m_2 , kurutma sonrası ürünlerin kütleleridir.

2.3.10. Büzülme Oranı

Gilaburu meyvelerinin büzülme oranları Joudi-Sarighayeh vd. (2022) tarafından bildirilen yöntemle göre belirlenmiştir. Bu bağlamda, kurutma işleminden önce ve sonrasında 3 adet gilaburu meyvesi 200 ml'lik tolüen sıvısına ilave edildikten sonra üzerine 200 ml'ye kadar tolüen sıvısı eklenmiştir. Ürünlerin hacmine bağlı olan büzülme oranı taze ve kurutulmuş ürünler için aşağıda verilen eşitlik ile hesaplanmıştır;

$$S(\%) = \left(\frac{V_0 - V}{V_0} \right) \times 100 \quad (2.3.10.1)$$

Burada; S : Büzülme oranı, V : Örneğin kurutma sonrası hacmi (mm^3), V_0 : Örneğin kurutma öncesi hacmi (mm^3)

2.3.11. pH ve Suda Çözünen Kuru Madde Miktarı (°Briks)

Taze ve kurutulmuş gilaburu örneklerinde pH belirlemek için ilk olarak pH metre 4.01 ve 7.01'lik kalibrasyon sıvıları ile kalibre edilmiştir. Taze gilaburu meyveleri katı meyve sıkacağına sıvı forma getirildikten sonra, pH metre probu sıvı içerisine daldırılmış ve sabitlenen değer kaydedilmiştir. Kurutulmuş örnekler saf suda 2 saat süre ile bekletildikten sonra pH metre probu sıvıya daldırılarak belirlenmiştir. °Briks (suda çözünen kuru madde miktarı) ise örneklerin suyu tülbent yardımıyla süzildikten sonra dijital refraktometreye 1 ml meyve suyu damlatılarak ölçülmüştür.

2.3.12. Enerji Analizleri

2.3.12.1. Enerji Tüketimi ve Özgül Enerji Tüketimi

Çalışmada kullanılan kurutucuların harcadıkları toplam enerji tüketimi wattmetre kullanılarak belirlenmiştir. Sayacın ilk ve son okuma değerlerinden yola çıkılarak toplam enerji tüketim miktarları hesaplanmıştır. Kurutucu performans değerlerinden özgül enerji tüketimi, 1 kg taze materyalin kurutulması için gerekli olan enerjiyi ifade etmektedir (Horuz vd., 2017). Birim ürün başına düşen enerji olarak tanımlanan özgül enerji tüketiminin hesaplanmasında aşağıda verilen eşitlik kullanılmıştır (Motevali vd., 2011);

$$\text{ÖET} = \frac{TET}{\left(W_0 \cdot \frac{M_0 - M_f}{100 - M_f}\right)} \quad (2.3.12.1.1)$$

Burada; ÖET: Özgül enerji tüketimi ($\text{kwh kg}_{\text{su}}^{-1}$), TET: Toplam enerji tüketimi (kwh), W_0 : Materyalin ilk ağırlığı (kg), M_0 : Materyalin yaş baza göre ilk nem içeriği (%), M_f , Materyalin kurutmadan sonraki yaş baza nem içeriğidir (%). Konvektif kurutmada yönteminde ürün kütlesinin kurutma süresini, buna bağlı olarak da enerji tüketimine etkisinin olmayacağı düşünülerek bu yöntemde W_0 , değeri “1” kabul edilmiştir.

2.3.12.2. Termal Etkinlik ve Enerji Etkinliği

Enerji etkinliği değeri, üründen suyun buharlaşması için kullanılan ısı enerjisinin toplam enerjiye oranıdır (Soysal vd., 2006). Termal etkinlik, ısı enerjisi kullanan cihazlardaki

enerji dönüştürme veya taşınım işleminin başarısını göstermektedir. Kurutma işleminde termal etkinlik, örneklerdeki nemin gizli buharlaşma ısısının, nemi serbest sudan uzaklaştırmak için özgül nem çekme oranı (ÖNÇO), enerji verimliliği oranı (η_{en}), gizli özgül ısı kapasitesi ve termal verimlilik değerleri aşağıdaki denklemler kullanılarak belirlenmiştir (Aghbashlo vd., 2012; Beigi, 2016; Motevali vd., 2016; Taskin, 2020).

$$\text{ÖNÇO} = \frac{m_w}{E_c} \quad (2.3.12.2.1)$$

$$\eta_{en} = \frac{m_w \lambda_{wp}}{E_c} \quad (2.3.12.2.2)$$

$$\frac{\lambda_{wp}}{\lambda_w} = 1 + 23 \exp(-0.4X) \quad (2.3.12.2.3)$$

$$\eta_{th} = \frac{P A \lambda_w (M_o - M_e)}{F t (100 - M_e)} \quad (2.3.12.2.4)$$

Burada; m_w : Buharlaşan suyun kütlesi (kg), X : Numunenin nemi ($\text{kg}_{\text{su}} \text{kg}_{\text{kuru madde}}^{-1}$), λ_w : Suyun gizli ısısı (J kg^{-1}) dır.

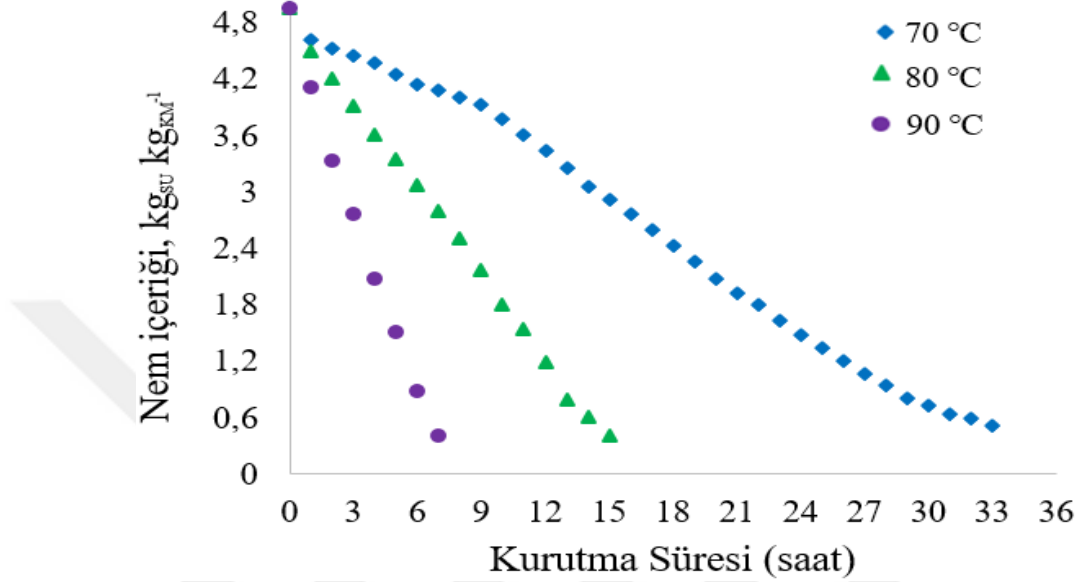
3. BÖLÜM

BULGULAR

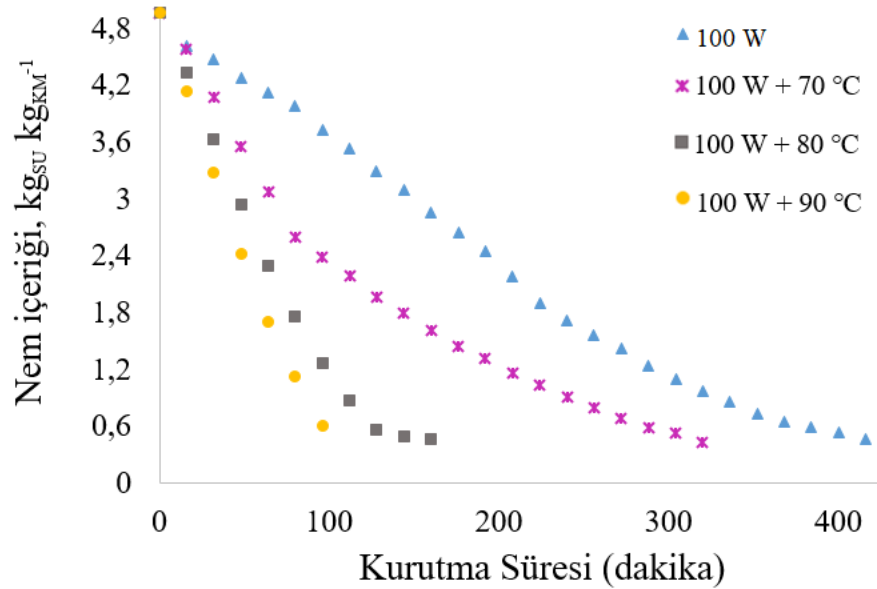
3.1. Kurutma Kinetiği

Başlangıç nem içeriği $4,959 \pm 0,002 \text{ kg}_{\text{su}} \text{ kg}_{\text{KM}}^{-1}$ (%83,22 $\pm$ 0,05 y.b.) olarak belirlenen gilaburu meyveleri son nem içeriği $0,142 \pm 0,001 \text{ kg}_{\text{su}} \text{ kg}_{\text{KM}}^{-1}$ (%12,57 $\pm$ 0,03 y.b.) oluncaya dek gölgede, -80 °C’de dondurarak, 70 °C, 80 °C ve 90 °C’de konvektif, 80 °C+ 200 mmHg ve 80 °C+ 400 mmHg sıcaklık ve basınç uygulamalarında vakumlu, 100 W çıkış gücünde mikrodalga, 100 W + 70 °C, 100 W + 80 °C ve 100 W + 90 °C konvektif-mikrodalga kombinasyonları kullanılarak hibrit kurutma yöntemi ile kurutulmuştur. Bu kurutma işlemleri yukarıda verilen sırayla; 47520, 10080, 1980, 900, 450, 270, 210, 208, 150, 136, 100 dakikada tamamlanmıştır. Çalışma kapsamında en uzun kurutma süresi 33 gün ile gölgede kurutma iken, bunu 7 gün ile dondurarak kurutma tekniği takip etmiştir. En kısa kurutma süresi olan 100 W + 90 °C hibrit kurutma yönteminin, gölgede ve dondurarak kurutma yönteminden sırasıyla; 475,2 ve 100,8 kat daha kısa sürdüğü tespit edilmiştir. Bununla birlikte, 70 °C, 80 °C ve 90 °C’de konvektif kurutma işlemi en kısa kurutma süresi olan 100 W + 90 °C hibrit kurutma yöntemine nazaran belirtilen sırayla; 19, 9 ve 4,5 kat daha uzun sürmüştür. Öte yandan, 80°C+ 200 mmHg ve 80°C+ 400 mmHg sıcaklık ve basınç uygulamaları kullanılarak gerçekleştirilen vakumlu kurutma işlemleri en kısa kurutma tekniğine kıyasla sırasıyla; 2,7 ve 2,1 kat daha uzun sürede sonlanmıştır. Çalışma kapsamında konvektif kurutma sıcaklığının ve mikrodalga kurutma yönteminde mikrodalga çıkış gücünün artmasıyla kurutma süresinin kısaldığı tespit edilmiştir (Zuhang vd., 2023; Çetin vd., 2023c; Chatzilia vd., 2023). Benzer şekilde, vakumlu kurutma tekniğinde uygulanan basınç değerinin artırılmasıyla kurutma süresinin kısaldığı bulgulanmıştır (Li vd., 2022). Gilaburu meyvesinin zamana bağlı kuru baza göre

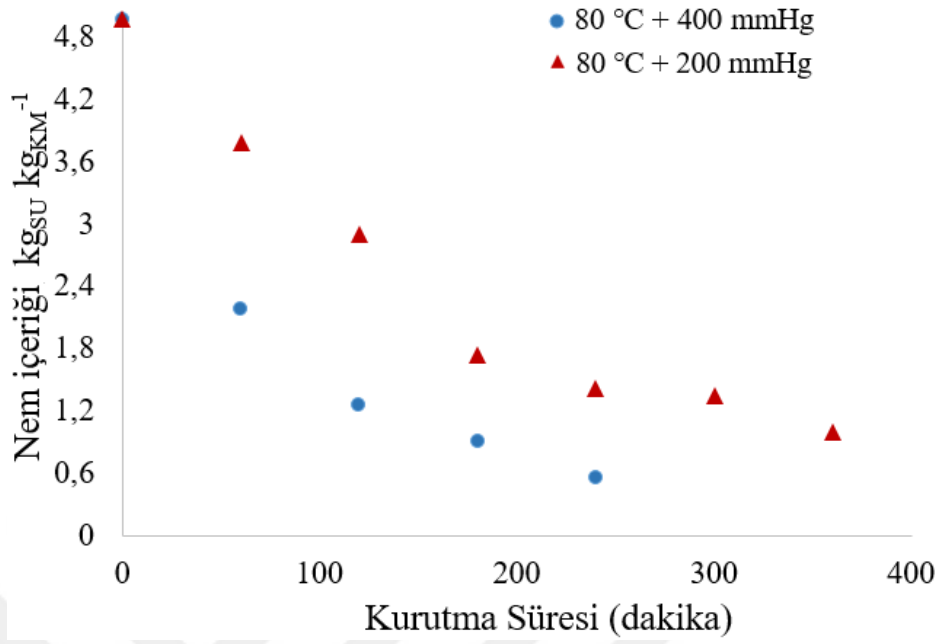
nem içeriği konvektif kurutma için Şekil 3.1’de, hibrit ve mikrodalga için Şekil 3.2’de, vakumlu kurutma için Şekil 3.3’te ve gölgede kurutma için Şekil 3.4’te verilmiştir.



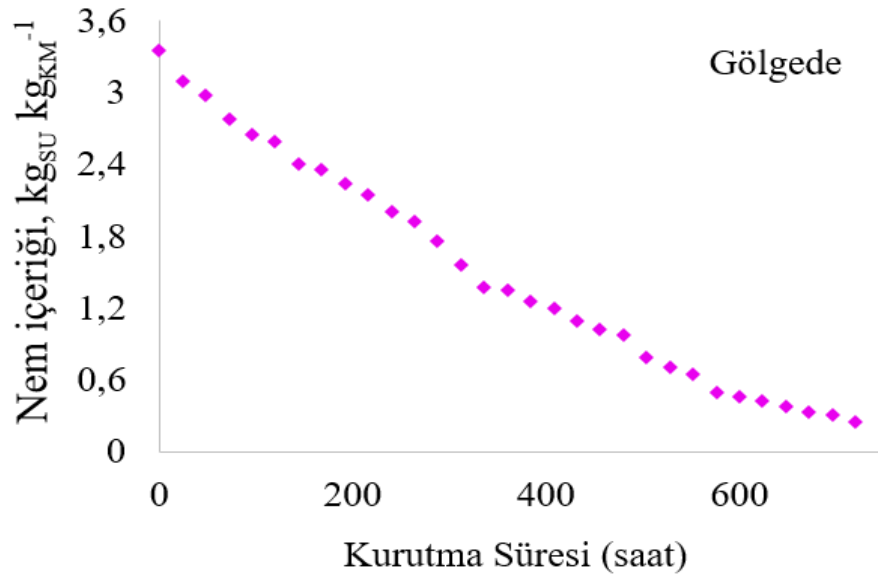
Şekil 3.1. Konvektif kurutma yöntemi ile kurutulan gilaburu meyvesinin kurutma süresine bağlı kuru baza göre nem içeriği değişimi



Şekil 3.2. Mikrodalga ve hibrit kurutma yöntemleri ile kurutulan gilaburu meyvesinin kurutma süresine bağlı kuru baza göre nem içeriği değişimi



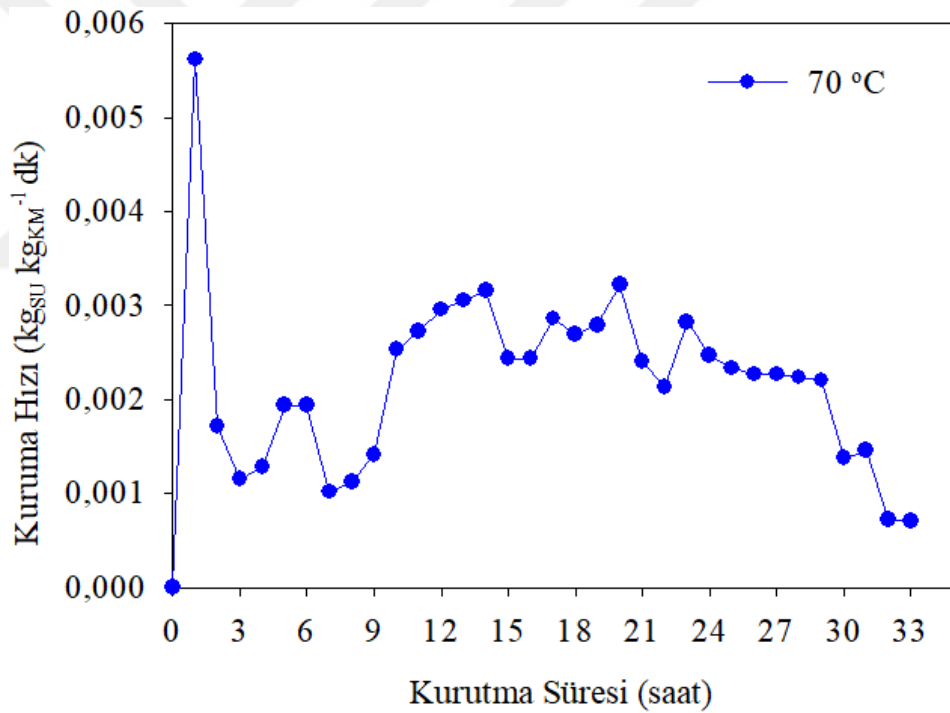
Şekil 3.3. Vakumlu kurutma yöntemi ile kurutulan gilaburu meyvesinin kurutma süresine bağlı kuru baza göre nem içeriği değişimi



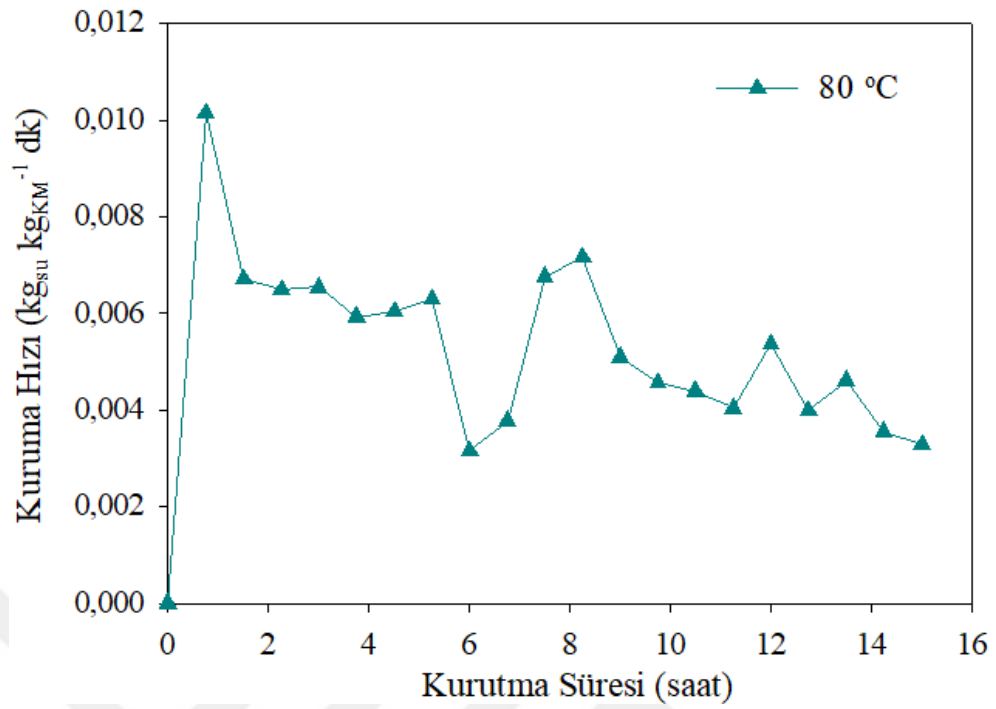
Şekil 3.4. Gölgede kurutma yöntemi ile kurutulan gilaburu meyvesinin kurutma süresine bağlı kuru baza göre nem içeriği değişimi

3.2. Kuruma Hızının Zaman Göre Değişimi

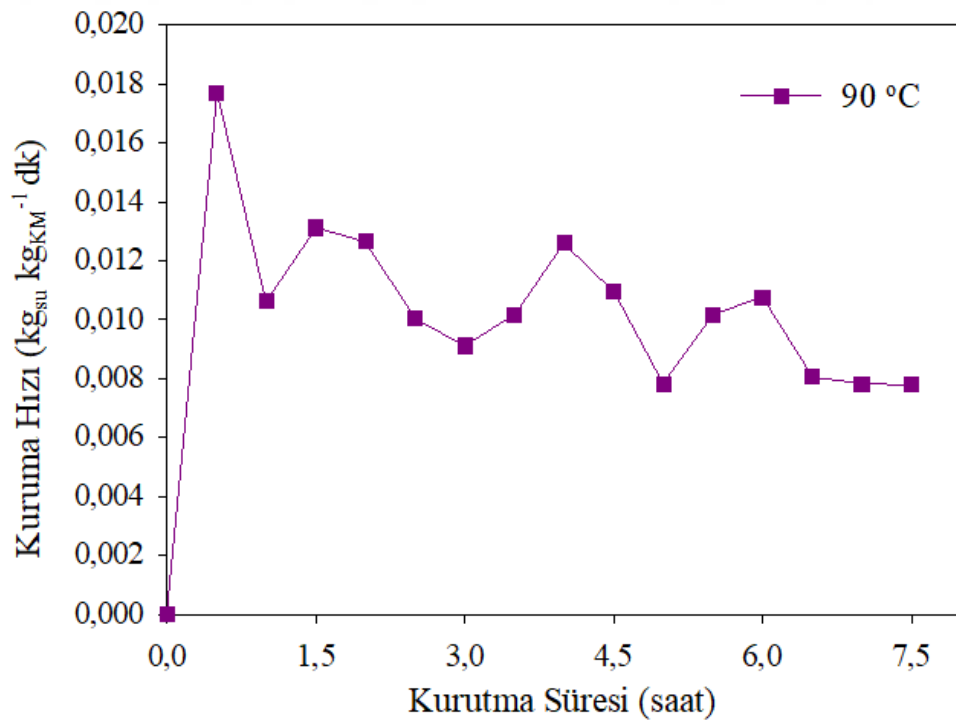
Farklı tekniklerle kurutulan gilaburu meyvelerinin zamana bağlı kuruma hızı değişimi konvektif kurutma yöntemi için Şekil 3.5, Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de gösterilmiştir. Bulgularımıza göre, gilaburu meyvelerinin ortalama kuruma hızları konvektif kurutma yönteminde 70 °C, 80 °C ve 90 °C hava sıcaklıkları için sırasıyla; 0,0021, 0,0051 ve 0,0097 ($\text{kg}_{\text{su}} \text{kg}_{\text{KM}}^{-1} \text{dk}^{-1}$) olarak belirlenmiştir. Mikrodalga kurutma tekniğinde 100 W çıkış gücü için kuruma hızı grafiği Şekil 3.8’de, hibrit kurutma yöntemi için Şekil 3.9, Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’de, vakumlu kurutma için Şekil 3.12 ve Şekil 3.13’te, gölgede kurutma için Şekil 3.14’te verilmiştir.



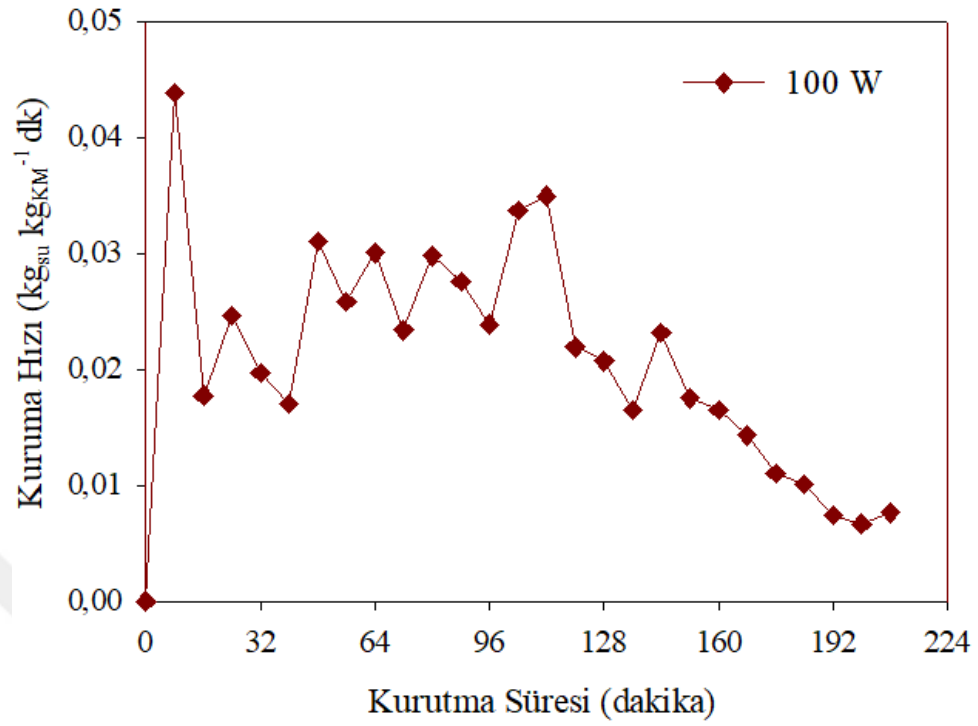
Şekil 3.5. 70 °C’de konvektif kurutma tekniği ile kurutulmuş gilaburu meyvelerinin zamana bağlı kuruma hızı değişimi



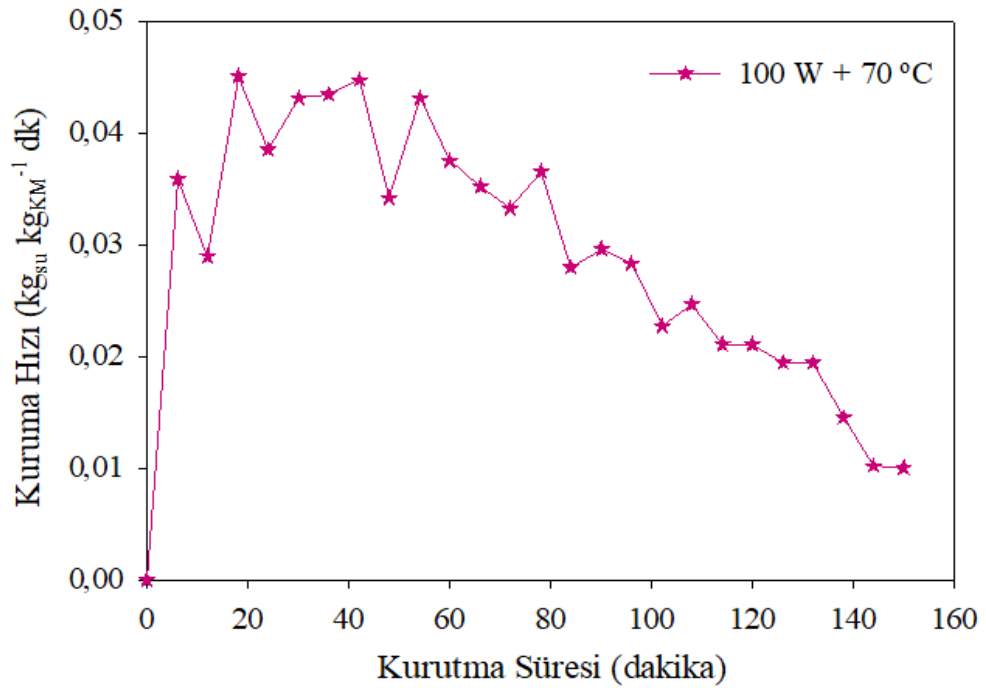
Şekil 3.6. 80 °C’de konvektif kurutma tekniği ile kurutulmuş gilaburu meyvelerinin zamana bağlı kuruma hızı değişimi



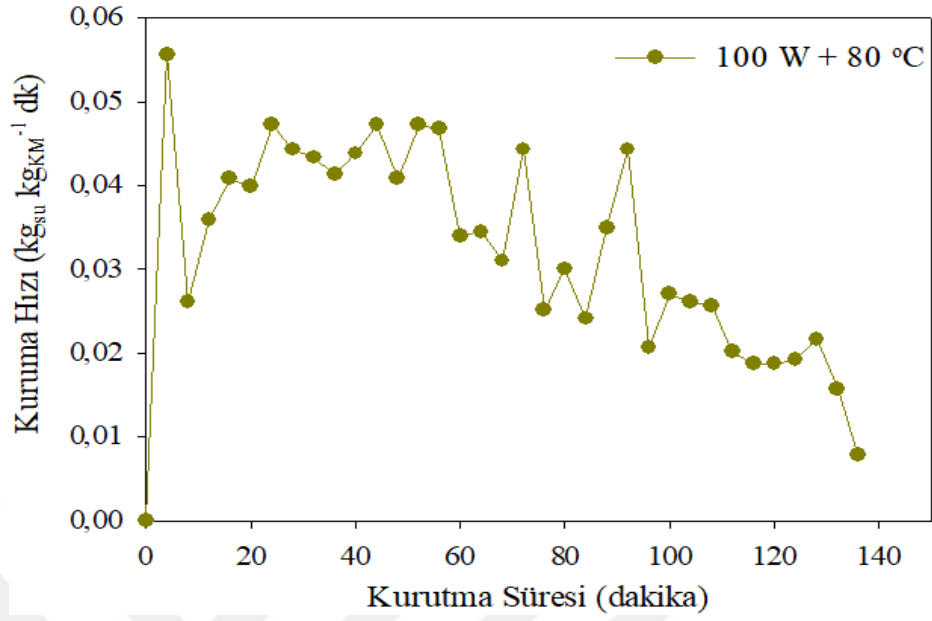
Şekil 3.7. 90 °C’de konvektif kurutma tekniği ile kurutulmuş gilaburu meyvelerinin zamana bağlı kuruma hızı değişimi



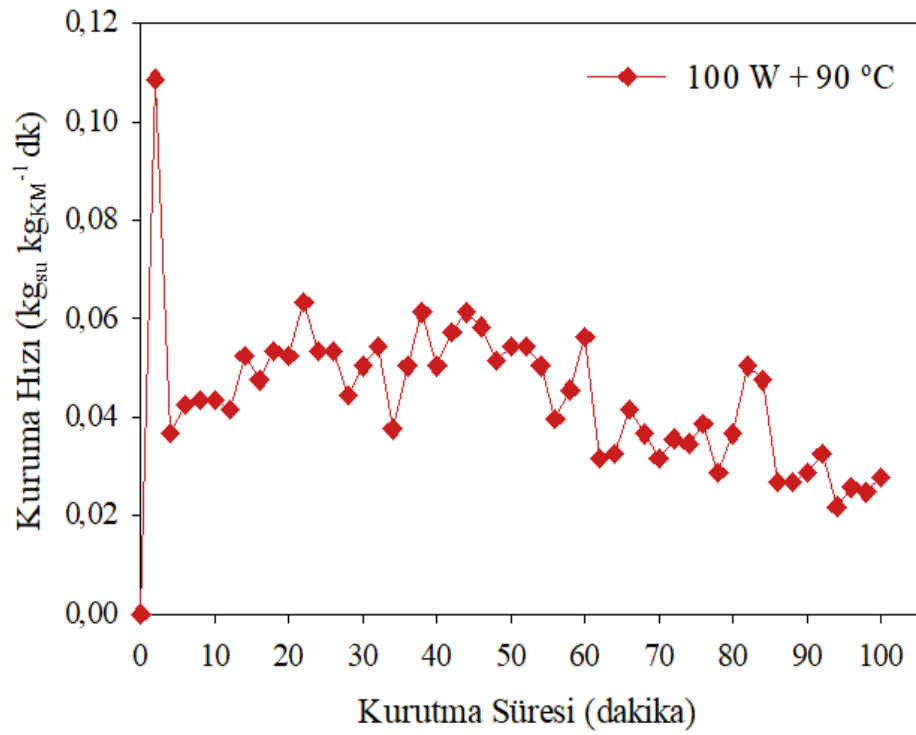
Şekil 3.8. 100 W’de mikrodalga kurutma tekniği ile kurutulmuş gilaburu meyvelerinin zamana bağlı kuruma hızı değişimi



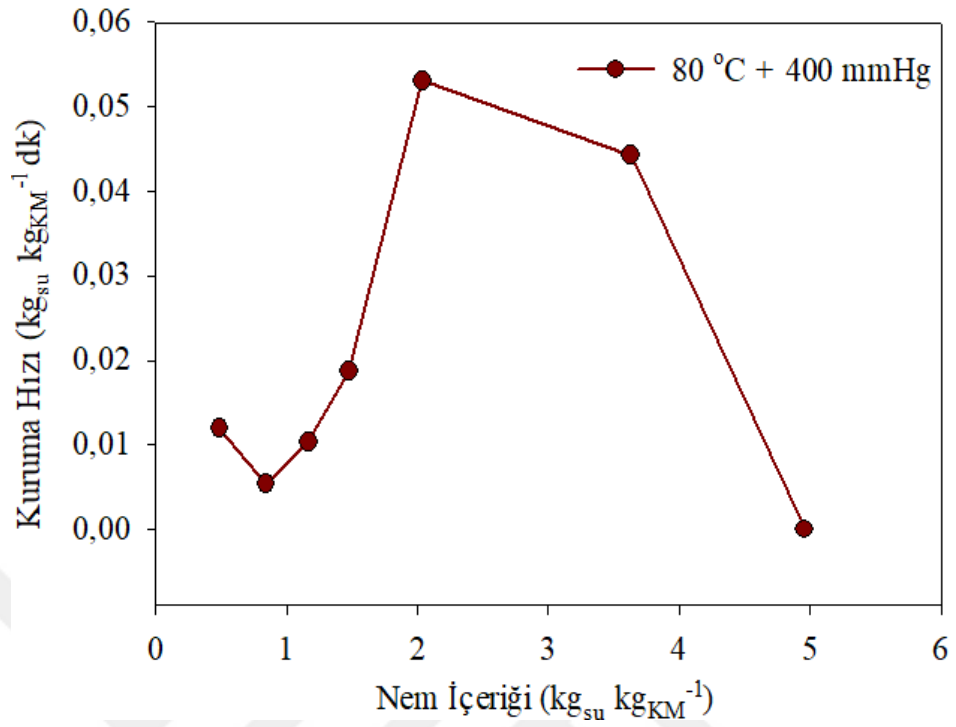
Şekil 3.9. 100 W + 70 °C’de hibrit kurutma tekniği ile kurutulmuş gilaburu meyvelerinin zamana bağlı kuruma hızı değişimi



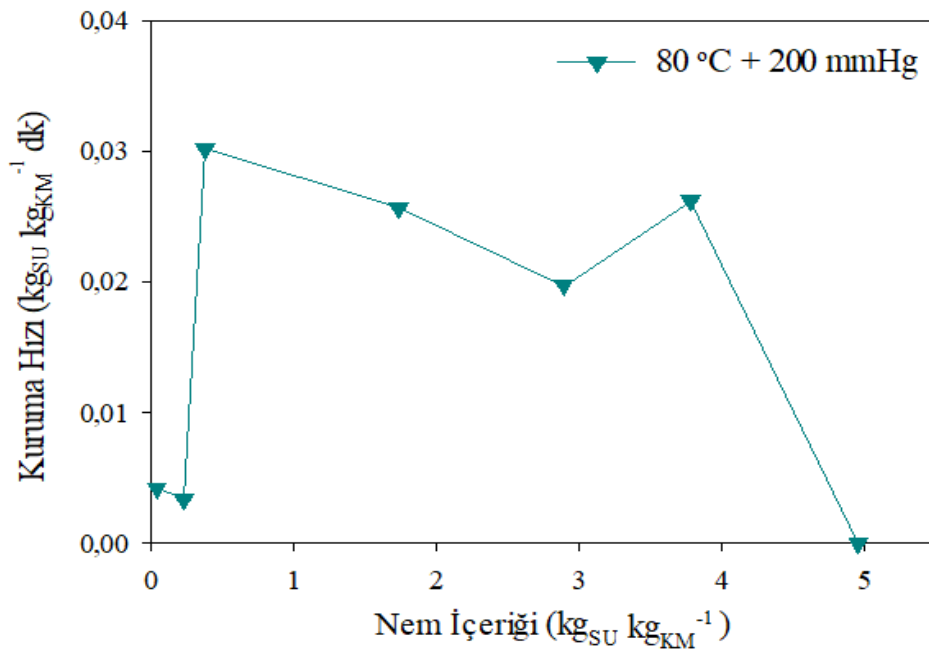
Şekil 3.10. 100 W + 80 °C’de hibrit kurutma tekniği ile kurutulmuş gilaburu meyvelerinin zamana bağlı kuruma hızı değişimi



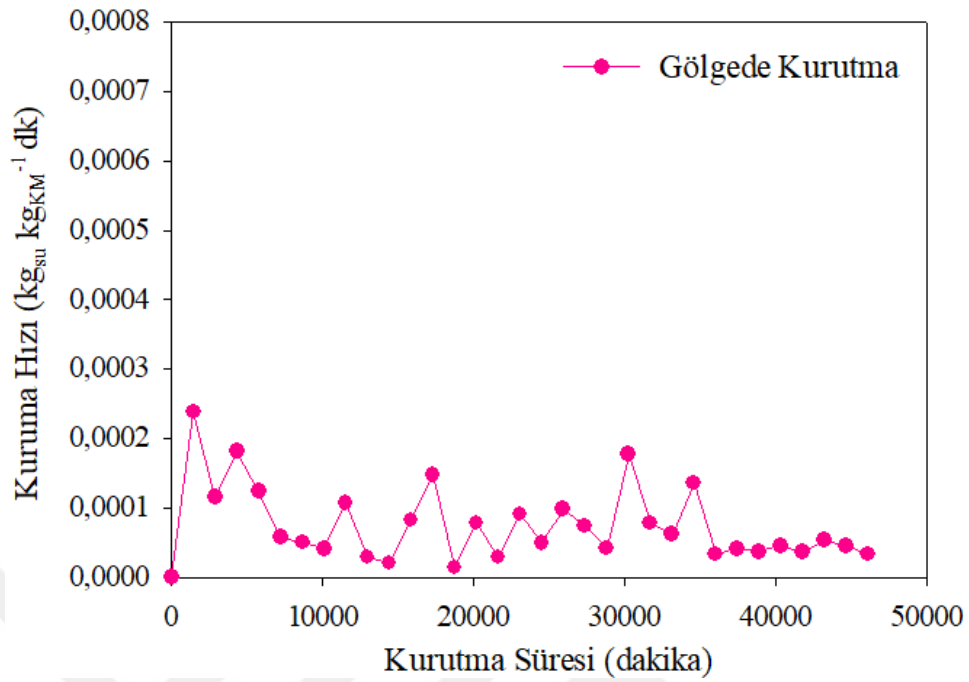
Şekil 3.11. 100 W+ 90 °C’de hibrit kurutma tekniği ile kurutulmuş gilaburu meyvelerinin zamana bağlı kuruma hızı değişimi



Şekil 3.12. 80 °C + 400 mmHg’de vakumlu kurutma tekniği ile kurutulmuş gilaburu meyvelerinin zamana bağlı kuruma hızı değişimi



Şekil 3.13. 80 °C + 200 mmHg’de vakumlu kurutma tekniği ile kurutulmuş gilaburu meyvelerinin zamana bağlı kuruma hızı değişimi



Şekil 3.14. Gölgede kurutma tekniği ile kurutulmuş gilaburu meyvelerinin zamana bağlı kuruma hızı değişimi

Bulgularımıza göre, 100 W’da mikrodalga kurutma için ortalama kuruma hızının 0,0208 (kg_{su} kg_{KM}⁻¹ dk⁻¹) olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, hibrit kurutma yönteminde 100 W + 70 °C, 100 W + 80 °C ve 100 W + 90 °C mikrodalga ve sıcaklık uygulamalarında ortalama kuruma hızları belirtilen sırayla; 0,0290, 0,0321 ve 0,0437 (kg_{su} kg_{KM}⁻¹ dk⁻¹) olarak belirlenmiştir.

Vakumlu kurutma yönteminde 80 °C + 200 mmHg ve 80 °C + 400 mmHg sıcaklık ve basınç uygulamalarında ortalama kuruma hızları sırasıyla; 0,0156 ve 0,0205 (kg_{su} kg_{KM}⁻¹ dk⁻¹), gölgede kurutma için 0,000093 (kg_{su} kg_{KM}⁻¹ dk⁻¹) olarak kaydedilmiştir. Kurumanın en hızlı olduğu 100 W + 90 °C’de hibrit kurutma tekniğinde ortalama kuruma hızının, nem çıkışının en yavaş olduğu gölgede kurutma yöntemine kıyasla 469,90 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Buna ilaveten, 100 W + 90 °C’de hibrit kurutma tekniğinde ortalama kuruma hızının, 70 °C, 80 °C ve 90 °C’de konvektif kurutma yöntemine göre sırasıyla; 20,80, 8,56 ve 4,50 kat daha yüksek olduğu kaydedilmiştir. Ayrıca en kısa kuruma süresine sahip olan hibrit kurutma yönteminde ortalama kuruma hızı, 80 °C + 200 mmHg ve 80 °C + 400 mmHg sıcaklık ve basınç uygulamalarında vakumlu kurutma yöntemine nazaran sırasıyla; 2,80 ve 2,13 kat daha yüksek bulunmuştur.

Konvektif ve hibrit kurutma tekniklerinde kurutucu hava sıcaklığının yükseltilmesiyle kuruma hızının arttığı kaydedilmiştir (Zahoor vd., 2019; Kumar vd., 2020; Karabacak, 2021). Bu bağlamda, konvektif kurutma yönteminde kurutucu hava sıcaklığının 70 °C'den 90 °C'ye yükseltilmesiyle gilaburu meyvelerinde kuruma hızının 4.61 kat arttığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde, vakumlu kurutma tekniğinde uygulanan basınç değerinin artmasıyla kuruma hızının arttığı raporlanmıştır (Gürçan, 2023). Kurutma süresinin en uzun olduğu, bununla ilişkili olarak da kuruma hızının en düşük olduğu gölgede kurutma yönteminde, kurutmanın son evrelerinde sabit hızla kuruma görülmüştür. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen kurutma işlemlerinin tamamında, kurutmanın ilk evresinde ürünlerin nem içeriğinin yüksek olmasından ötürü nem çıkışı hızlı olmuş, yani kuruma hızı artış eğilimi göstermiştir. Bir başka deyişle, kurumanın başlangıcında gilaburu meyvelerindeki su içeriğinin yüksek olması sebebiyle kuruma hızı artmıştır. Kurumanın diğer aşamalarında ürünlerin nem içeriğinin büyük bir bölümünü kaybetmesiyle ilişkili olarak kuruma hızları azalmıştır. Tüm kurutma yöntemlerinde, kuruma periyodunun yaklaşık yarısında sabit hızla kuruma görülürken, kurumanın son evrelerinde azalan hızla kuruma evresi söz konusu olmuştur.

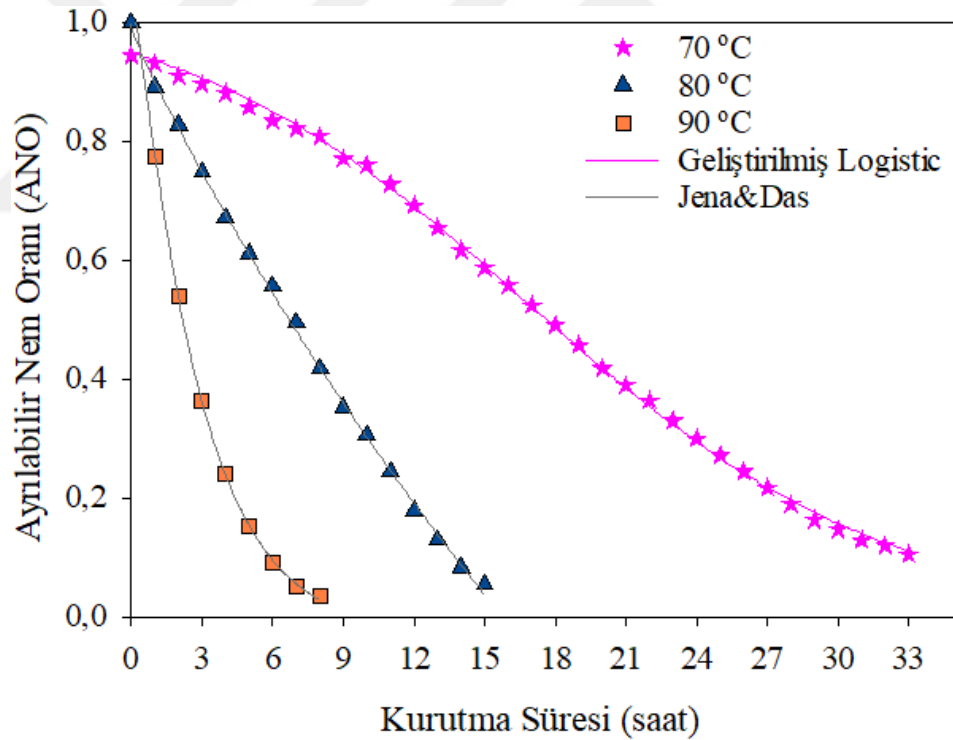
3.3. Gilaburu Meyvelerinin Kuruma Eğrilerinin Matematiksel Modellemesi

Farklı tekniklerle kurutulan gilaburu meyvelerinin zamana bağlı deneysel nem oranı ile matematiksel modeller kullanılarak belirlenen tahmini ayrılabilir nem oranı değerleri hesaplanmıştır. Deneysel ve deneysel verilere en yakın sonuçları veren tahmin verilerinden yola çıkılarak hazırlanan ayrılabilir nem oranı grafikleri Şekil 3.15, Şekil 3.16, Şekil 3.17 ve Şekil 3.18'de sunulmuştur.

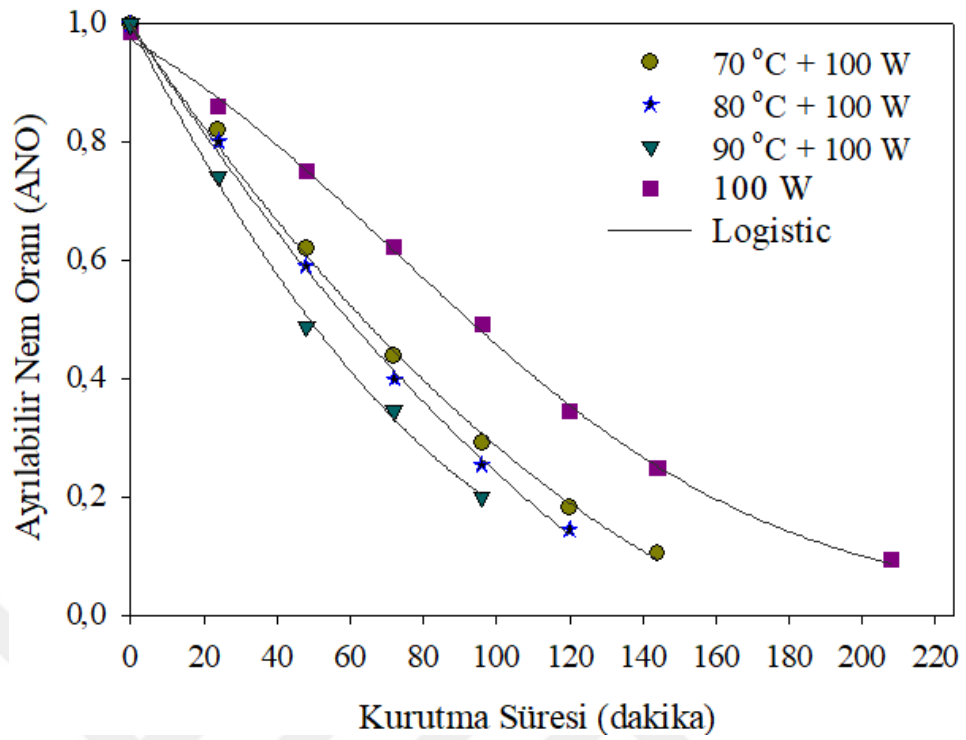
Konvektif kurutma yönteminde, en kısa kurutma süresine sahip olan hibrit kurutma yönteminin kurutma periyodunun yarısına karşılık gelen ilk 50 dakikadaki ayrılabilir nemin, 70 °C, 80 °C ve 90 °C hava sıcaklıkları için yaklaşık olarak sırasıyla; %25, %30 ve %40'ının üründen uzaklaştığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, mikrodalganın 100 W çıkış gücü kullanılarak yapılan mikrodalga kurutma yönteminde ilk 50 dakikadaki ayrılabilir nem oranının yaklaşık %40'ının buharlaştığı görülmüştür. Öte yandan, en kısa kurutma süresi olan 100 W + 90 °C mikrodalga çıkış gücü ve sıcaklık uygulamasının kullanıldığı hibrit kurutma yönteminde ilk 50 dakikadaki ayrılabilir nemin yaklaşık

%78'inin ürün bünyesinden ayrıldığı kaydedilmiştir. Bunu, %64 ve %57'lik bir oranla sırasıyla; 100 W + 80 °C ve 100 W + 70 °C hibrit kurutma yöntemleri takip etmiştir. Gölgede kurutma yönteminde ürün bünyesinden ayrılabilir nemin yaklaşık olarak %78'inin uzaklaşması 20 gün sürmüştür. Ayrıca vakumlu kurutma tekniğinde 80 °C + 200 mmHg sıcaklık ve basınç uygulamasında ilk 50 dakikadaki ayrılabilir nemin yaklaşık olarak %56'sının, 80 °C + 400 mmHg sıcaklık ve basınç uygulamasında ise yaklaşık %67'sinin üründen uzaklaştığı raporlanmıştır.

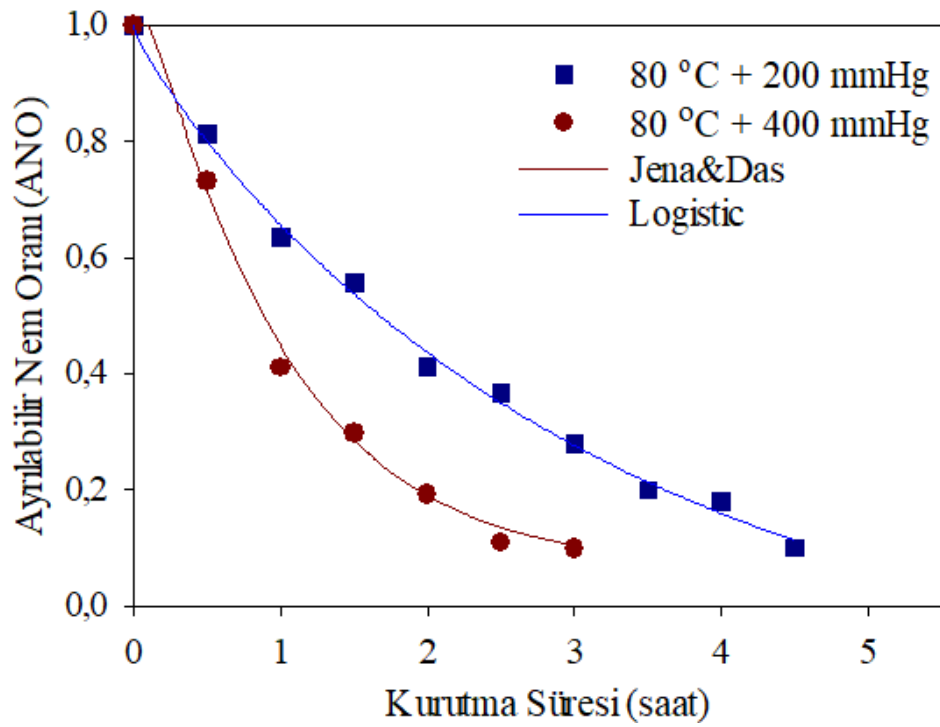
Literatürde gilaburu meyvelerinin mikrodalga-konvektif kurutma yöntemlerinin aynı anda kullanıldığı hibrit kurutma tekniği, vakumlu kurutma tekniği ve gölgede kurutma tekniği kullanılarak kurutulduğu çalışmalara rastlanmamıştır. Gilaburu meyvelerinin bu tekniklerle kurutulması çalışmamızın yenilikçi yönünü ortaya koymaktadır.



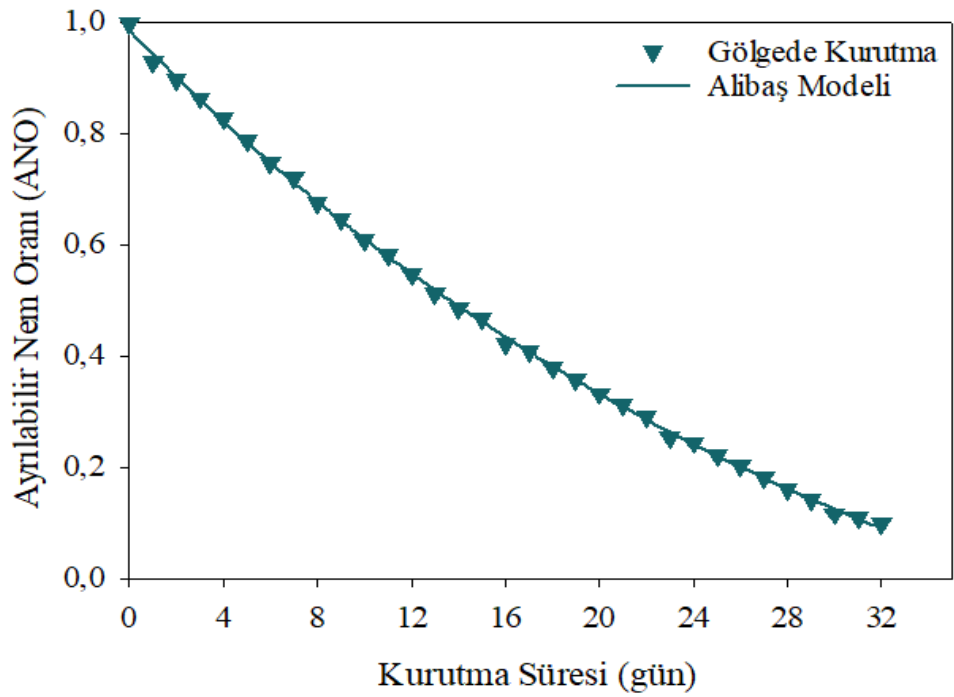
Şekil 3.15. Konvektif kurutma yöntemi ile kurutulmuş gilaburu meyvelerinin ayrılabilir nem oranı grafiği



Şekil 3.16. Mikrodalga ve hibrit kurutma yöntemi ile kurutulmuş gilaburu meyvelerinin ayrılabilir nem oranı grafiği



Şekil 3.17. Vakumlu kurutma yöntemi ile kurutulmuş gilaburu meyvelerinin ayrılabilir nem oranı grafiği



Şekil 3.18. Konvektif kurutma yöntemi ile kurutulmuş gilaburu meyvelerinin ayrılabilir nem oranı grafiği

Deneyssel veriler ile çalışma kapsamında gilaburu meyvelerinin kurutulmasında kullanılan 12 farklı ince tabaka kurutma eşitliğinden elde edilen tahmin verilerine ilişkin istatistiksel veriler (R^2 , SEE , $RMSE$ ve χ^2) ve matematiksel modellemesinde kullanılan ince tabaka kurutma eşitliğinde yer alan kurutma sabit ve kat sayıları 70 °C ve 80 °C’de konvektif kurutma için Tablo 3.1’ de; 90 °C ve 100 W için Tablo 3.2’de; 100 W + 70 °C ve 100 W + 80 °C’de hibrit kurutma için Tablo 3.3’te; 100 W + 90 °C’de hibrit ve 80 °C+200 mmHg için Tablo 3.4’te; 400 mmHg + 80 °C’de vakumlu kurutma ve gölgede kurutma için Tablo 3.5’te gösterilmiştir. Bulgularımıza göre, 70 °C için 0,9983 regresyon katsayısı ile Modified Logistic, 80 °C ve 90 °C için sırasıyla; 0,9992 ve 0,9992 regresyon katsayıları ile Jena&Das, ve 100 W için 0,9991 regresyon katsayısı ile Logistic model en başarılı model olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde, 100 W + 70 °C, 100 W + 80 °C ve 100 W + 90 °C için sırasıyla; 0,9999, 0,9995 ve 0,9993 regresyon katsayıları ile Logistic model en başarılı model olarak seçilmiştir. Ayrıca gölgede kurutma için 0,9970 regresyon katsayısı ile en başarılı modelin Alibaş modeli olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, 80 °C + 200 mmHg ve 80 °C + 400 mmHg sıcaklık ve basınç uygulamalarının birlikte kullanıldığı vakumlu kurutma yönteminde belirtilen uygulamalar için sırasıyla; 0,9895 ve

0,9939 regresyon katsayıları ile geliştirilmiş Logistic ve Jena&Das model en iyi model olarak belirlenmiştir.

Mevcut çalışmada 80 °C ve 90 °C’de konvektif kurutma yönteminde deneysel sonuçlara en yakın değerleri veren Jena&Das modelinin k , b ve c kat sayıları sıcaklık düzeyinin yükselmesiyle artarken, a kat sayısı azalmıştır. Bununla birlikte 100 W + 70 °C, 100 W + 80 °C ve 100 W + 90 °C mikrodalga ve sıcaklık uygulamalarının kullanıldığı hibrit kurutma tekniğinde deneysel verilere en yakın sonuçları veren Logistic modelinin k parametresi sıcaklığın yükseltilmesiyle artarken, a ve b kat sayıları azalmıştır.



Tablo 3.1. 70 °C ve 80 °C’de konvektif kurutma için istatistiksel parametreler

Model*	70 °C					80 °C				
	Katsayılar	R ²	OKH	TSH	χ^2	Katsayılar	R ²	OKH	TSH	χ^2
Alibaş	k=1,0027 n=1,0000 a=5,6719 b=0,9973 g=4,6529	0,9921	0,0271	0,0324	1,23E-02	k= 1,0203 n= 1,0000 a= 2,1132 b= 0,9797 g= -1,1342	0,9988	0,0114	0,0822	8,86E-03
Logistic	k=0,1341 a=0,1028 b=1,0479	0,9983	0,0120	0,0650	4,63E-02	k= 0,2640 a= 0,2678 b= 1,2034	0,9910	0,0298	0,0471	2,59E-03
Jena&Das	k=0,0073 a=5,1092 b=0,0084 c=4,1483	0,9944	0,0223	0,0490	2,73E-02	k= 0,0231 a= 2,9902 b= -0,0141 c= -1,9920	0,9992	0,0090	0,0765	9,95E-03
Geliştirilmiş Logistic	k=0,0351 a=1,0479 L=31,8795	0,9983	0,0120	0,0366	1,47E-02	k= 0,0794 a= 1,2031 L= 12,5664	0,9910	0,0298	0,0594	5,09E-03
Newton	k=0,0443	0,9192	0,0810	0,0490	2,48E-02	k= 0,1273	0,9581	0,0611	0,0484	246E-03
Page	k=0,0064 n=1,6501	0,9890	0,0304	0,0629	4,20E-02	k=0,0622 n=1,3430	0,9840	0,0387	0,0447	2,21E-03
Wang&Singh	a=-0,0272 b=-4,0878	0,9936	0,0231	0,0581	3,58E-02	a= -0,0893 b= 0,0016	0,9978	0,0142	0,0338	1,26E-03
Henderson&Pabis	k=0,0496 a=1,0947	0,9364	0,0730	0,0594	3,75E-02	k=0,1354 a= 1,0571	0,9635	0,0585	0,0787	6,85E-03
Verma	k=0,0929 a=6,8024 b=0,1087	0,9820	0,0395	0,0617	4,17E-02	k= 0,2219 a= 5,4580 b= 0,2584	0,9833	0,0406	0,0765	6,83E-03
Yağcıoğlu	k=0,0011 a=27,0379 c=26,0294	0,9932	0,0242	0,0617	4,17E-02	k= 0,0405 a= 2,1133 c= -1,1343	0,9988	0,0107	0,0810	7,66E-03
Weibull dağılımı	k=0,0148 n=1,7055 a=-0,1028 b=1,0446	0,9940	0,0231	0,0406	1,88E-02	k= 0,0231 n= 0,8726 a= -3,5377 b= -4,5329	0,9992	0,0094	0,0484	4,36E-03
Difüzyon yaklaşımı	k=0,0443 a=1,0000 b=1,0000	0,9192	0,0836	0,0594	3,87E-02	k=0,1273 a= 1,0000 b= 1,0000	0,9581	0,0644	0,0787	7,23E-03

Tablo 3.2. 90 °C ve 100 W’da kurutma için istatistiksel parametreler

Model*	90 °C					100 W				
	Katsayılar	R ²	OKH	TSH	χ^2	Katsayılar	R ²	OKH	TSH	χ^2
Alibaş	k=1,0368 n=1,0000 a=2,2342 b=0,9632 g=-1,2469	0,9990	0,0109	0,0396	2,28E-03	k=1,0018 n=1,0000 a=1,8046 b=0,9982 g=-0,7866	0,9939	0,0250	0,0990	1,20E-02
Logistic	k=0,5054 a=0,2701 b=1,2190	0,9934	0,0261	0,0375	1,73E-03	k= 0,0192 a= 0,2419 b= 1,2089	0,9991	0,0090	0,0994	1,11E-02
Jena&Das	k=0,0521 a=2,7747 b=-0,0124 c=-1,7775	0,9992	0,0096	0,0539	1,37E-02	k= 0,0064 a= 1,3808 b= 0,0167 c= -0,4076	0,9954	0,0212	0,0539	4,30E-02
Geliştirilmiş Logistic	k=0,1540 a=1,2187 L=6,5483	0,9934	0,0261	0,0761	1,13E-03	k= 0,3586 a= 1,1936 L= 2,8924	0,9992	0,0089	0,0496	1,52E-02
Newton	k= 0,2393	0,9592	0,0606	0,0851	7,73E-03	k=0,0085	0,9553	0,0624	0,0561	1,97E-02
Page	k= 0,1422 n= 1,3663	0,9875	0,0347	0,0732	6,12E-03	k=0,0010 n=1,4458	0,9957	0,0197	0,0434	2,51E-02
Wang&Singh	a= -0,1680 b= 0,0054	0,9987	0,0113	0,0334	1,28E-03	a=-0,0062 b=7,8472	0,9944	0,0225	0,0495	2,64E-02
Henderson&Pabis	k= 0,2551 a= 1,0583	0,9653	0,0579	0,0312	1,11E-03	k=0,0094 a=1,0851	0,9673	0,0544	0,0561	3,96E-02
Verma	k=0,4304 a=6,1489 b=0,4940	0,9865	0,0374	0,0655	5,28E-03	k= 1,0255 a= 7,6589 b= 1,1613	0,9938	0,0242	0,0801	7,22E-03
Yağcıoğlu	k= 0,0735 a= 2,2345 c= -1,2472	0,9990	0,0100	0,0539	3,58E-02	k=0,1969 a=2,0101 c=-0,9963	0,9936	0,0245	0,0539	2,27E-03
Weibull dağılımı	k=0,0546 n=0,9317 a=-2,1977 b=-3,1924	0,9991	0,0099	0,0851	4,71E-03	k= 0,3283 n= 1,4811 a=-0,0700 b=-1,0315	0,9983	0,0128	0,0851	2,89E-02
Difüzyon yaklaşımı	k=0,2393 a=1,0000 b=1,0000	0,9592	0,0651	0,0872	9,35E-03	k= 0,5277 a=1,0000 b=1,0000	0,9532	0,0664	0,0606	4,13E-02

Tablo 3.3. 70 °C +100 W ve 80 °C +100 W’da hibrit kurutma için istatistiksel parametreler

Model*	100 W + 70 °C					100 W + 80 °C				
	Katsayılar	R ²	OKH	TSH	χ^2	Katsayılar	R ²	OKH	TSH	χ^2
Alibaş	k= 1,0035 n= 1,0000 a= 1,4774 b= 0,9965 g= -04453	0,9981	0,0141	0,0774	7,41E-03	k= 1,0034 n= 1,0000 a= 1,5894 b=0,9966 g=-0,5651	0,9982	0,0131	0,0448	2,34E-02
Logistic	k= 0,0231 a= 0,4343 b= 1,4366	0,9999	0,0047	0,0769	6,68E-03	k= 0,0257 a= 0,3827 b= 1,3716	0,9995	0,0066	0,0667	4,91E-02
Jena&Das	k= 0,0109 a= 1,2263 b= 0,0219 c= -0,2355	0,9995	0,0071	0,0539	3,33E-02	k= 0,0104 a= 1,3029 b= 0,0194 c= -0,3194	0,9992	0,0087	0,0790	7,04E-02
Geliştirilmiş Logistic	k= 0,4981 a= 1,4366 L= 2,0432	0,9998	0,0047	0,0820	7,60E-03	k= 0,5284 a= 1,2578 L= 1,9569	0,9995	0,0060	0,0537	3,05E-02
Newton	k= 0,0122	0,9694	0,0514	0,0561	1,32E-02	k= 0,0130	0,9669	0,0521	0,0561	4,59E-02
Page	k= 0,0025 n= 1,3600	0,9993	0,0079	0,0412	1,83E-02	k=0,0027 n=1,3665	0,9984	0,0118	0,0748	5,95E-02
Wang&Singh	a=-0,0091 b= 1,9390	0,9978	0,0141	0,0495	1,93E-02	a=-0,0096 b=1,0000	0,9981	0,0126	0,0495	1,02E-01
Henderson&Pabis	k=0,0134 a=1,0869	0,9817	0,0406	0,0561	3,05E-02	k= 0,0143 a= 1,0854	0,9791	0,0421	0,0561	8,31E-02
Verma	k= 0,0139 a= 1,1233 b=37,9742	0,9866	0,0354	0,0610	4,21E-03	k= 0,0147 a=1,1098 b= 7,6425	0,9825	0,0391	0,0586	3,75E-02
Yağcıoğlu	k=0,0071 a=1,4774 c=-0,4453	0,9981	0,0134	0,0539	4,21E-03	k= 0,0068 a= 1,5893 c= -0,5651	0,9982	0,0127	0,0539	3,75E-02
Weibull dağılımı	k= 0,5816 n= 1,2822 a= -0,0783 b= -1,0737	0,9998	0,0028	0,0373	1,64E-02	k= 0,6244 n= 1,4855 a= -0,0335 b= -1,0030	0,9693	0,0526	0,0693	5,06E-02
Difüzyon yaklaşımı	k= 0,0122 a= 1,0000 b= 1,0000	0,9694	0,0536	0,0531	3,19E-02	k= 0,0130 a= 1,0000 b= 1,0000	0,9669	0,0537	0,0885	8,57E-02

Tablo 3.4. 100 W + 90 °C ve 80 °C+ 200 mmHg’de kurutma için istatistiksel parametreler

Model*	100 W + 90 °C					80°C+200 mmHg				
	Katsayılar	R ²	RMSE	SEE	χ^2	Katsayılar	R ²	RMSE	SEE	χ^2
Alibaş	k= 1,0031 n=1,0000 a= 2,0195 b=0,9969 g=-1,0104	0,9982	0,0120	0,0526	1,27E-01	k=1,1323 a=1,5367 b=0,8677 n=1,0000 g=-0,5120	0,9790	0,0978	0,0458	7,37E-01
Logistic	k= 0,0349 a=0,2980 b= 1,2667	0,9993	0,0077	0,0556	3,28E-01	k=1,3603 a=0,1210 b=1,0896	0,9895	0,0490	0,0490	5,42E-02
Jena&Das	k= 0,0100 a=1,5520 b= 0,0153 c= -0,5789	0,9988	0,0096	0,0327	1,16E-01	k=0,5368 a=1,2113 b=0,2582 c=-0,2152	0,9843	0,0691	0,0370	3,22E-01
Geliştirilmiş Logistic	k= 0,0110 a=1,2667 L=92,0632	0,9993	0,0077	0,0356	1,35E-01	k=0,0690 a=1,0956 b=16,1609	0,9895	0,0486	0,0440	4,40E-02
Newton	k=0,0163	0,9619	0,0537	0,0383	1,50E-01	k=0,269	0,9348	0,0995	0,0446	2,33E-01
Page	k=0,0035 n=1,3827	0,9962	0,0171	0,0451	2,11E-01	k=0,3035 n=1,7012	0,9858	0,0508	0,0472	3,13E-01
Wang&Singh	a= -0,0118 b=2,6788	0,9984	0,0110	0,0361	1,31E-01	a=-0,3683 b=0,0310	0,9821	0,0571	0,0459	2,95E-01
Henderson&Pabis	k=0,0179 a=1,0796	0,9735	0,0452	0,0361	1,35E-01	k=0,2484 a=1,0154	0,9667	0,0774	0,0414	2,40E-01
Verma	k=0,0309 a=6,6813 b= 0,0353	0,9957	0,0185	0,0555	3,28E-01	k=0,6967 a=1,3730 b=38,6811	0,9656	0,0886	0,0506	4,49E-01
Yağcıoğlu	k=0,0061 a=2,0194 c=-1,0102	0,9982	0,0117	0,0555	3,28E-01	k=0,2645 a=1,5369 c=-0,5122	0,9790	0,0691	0,0506	4,49E-01
Weibull dağılımı	k= 2,3387 n=-0,3779 a= 0,9613 b=6,0077	0,9987	0,0102	0,0922	9,24E-02	k=0,2801 a=-0,0558 b=-1,0358 n=1,6134	0,9884	0,0594	0,0405	3,85E-01
Difüzyon yaklaşımı	k=0,0163 a=1,0000 b=1,0000	0,9619	0,0548	0,0361	1,38E-01	k=0,2447 a=1,0000 b=1,0000	0,9664	0,0870	0,0414	3,00E-01

Tablo 3.5. 80 °C+ 400 mmHg’de vakumlu ve gölgede kurutma için istatistiksel parametreler

Model*	80 °C + 400 mmHg					Gölgede Kurutma				
	Katsayılar	R ²	RMSE	SEE	χ^2	Katsayılar	R ²	RMSE	SEE	χ^2
Alibaş	k=1,2080 a=0,9851 b=0,7920 n=1,0000 g=0,0295	0,9903	0,0561	0,0420	6,16E-01	k= 1,0157 n= 1,0000 a= 1,4193 b= 0,9843 g=-0,4286	0,9970	0,0157	0,0324	1,23E-02
Logistic	k=6,3090 a=9,9099 b=1,0124	0,9898	0,0407	0,0451	3,56E-01	k=0,0970 a=0,5217 b=1,4706	0,9960	0,0176	0,0650	4,63E-02
Jena&Das	k=0,7207 a=0,8981 b=0,3406 c=0,1033	0,9939	0,0362	0,0332	2,59E-01	k= 0,0339 a= 1,3705 b= 0,0060 c= -0,3861	0,9957	0,0187	0,0490	2,73E-02
Geliştirilmiş Logistic	k=1,5968 L=1,5082 a=1,0130	0,9712	0,0683	0,0401	2,83E-01	k= 0,0357 a= 1,4708 L= 27,3247	0,9960	0,0176	0,0366	1,47E-02
Newton	k=0,3836	0,9897	0,0335	0,0407	1,95E-01	k=0,0559	0,9792	0,0390	0,0490	2,48E-02
Page	k=0,3789 n=1,0117	0,9897	0,0366	0,0437	2,68E-01	k=0,0018 n=1,2180	0,9925	0,0237	0,0629	4,20E-02
Wang&Singh	a=-0,3177 b=0,0289	0,9848	0,0444	0,0421	2,48E-01	a=-0,0436 b=0,0005	0,9957	0,0179	0,0581	3,58E-02
Henderson&Pabis	k=0,3872 a=1,0091	0,9898	0,0364	0,0375	1,99E-01	k=0,0586 a=1,0405	0,9823	0,0366	0,0594	3,75E-02
Verma	k=1,5971 a=1,0124 b=2,5082	0,9900	0,0404	0,0467	3,82E-01	k=0,0907 a=4,2409 b=0,1078	0,9935	0,0226	0,0617	4,17E-02
Yağcıoğlu	k=0,4159 a=0,9851 c=0,0295	0,9903	0,0396	0,0467	3,82E-01	k= 0,0313 a= 1,4192 c= -0,4286	0,9956	0,0184	0,0617	4,17E-02
Weibull dağılımı	k=0,4055 a=0,1049 b=-0,9006 n=1,2253	0,9926	0,0401	0,0366	3,15E-01	k= 0,0597 n= 11272 a= -0,2021 b= -1,1754	0,9959	0,0181	0,0406	1,88E-02
Difüzyon yaklaşımı	k=0,3836 a=1,0000 b=1,0000	0,9897	0,0410	0,0375	2,48E-01	k=0,0559 a=1,0000 b=1,0000	0,9792	0,0403	0,0594	3,87E-02

3.4. Renk Parametreleri, Kahverengileşme İndeksi ve Toplam Renk Değişimi

Taze ve kurutulmuş gilaburu örneklerine ilişkin parlaklık (L^*), kırmızılık/yeşillik (a^*), sarılık/mavilik (b^*), kroma (C), toplam renk değişimi (ΔE) ve kahverengileşme indeksi (BI) değerleri Tablo 3.6’da verilmiştir. Taze ürüne en yakın parlaklık değerleri sırasıyla; $80\text{ }^{\circ}\text{C} + 400\text{ mmHg}$ ve $80\text{ }^{\circ}\text{C} + 200\text{ mmHg}$ sıcaklık ve basınç uygulamasının kullanıldığı vakumlu kurutma yönteminde ölçülmüştür. Buna karşın, L^* değerinin en düşük olduğu, diğer bir deyişle ürün renginde en fazla koyuluk artışının $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’de konvektif kurutmada olduğu tespit edilmiştir. Bunu takiben, en fazla koyuluk artışının sırasıyla; $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’de konvektif kurutma yönteminde olduğu tespit edilmiştir. Taze ürüne kıyasla; parlaklık değerinin $70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ hava sıcaklıklarının kullanıldığı konvektif kurutmada sırasıyla; %66, %62, %63 oranında azaldığı kaydedilmiştir. Bununla birlikte, 100 W çıkış gücünün kullanıldığı mikrodalga kurutma yönteminde taze ürüne göre parlaklık değeri 2,36 kat azalmıştır. Mikrodalga’nın 100 W çıkış gücünde kurutulan gilaburu örneklerinin uzun süre mikrodalga etkisine maruz kalması ürün renginde ciddi ölçüde kararmalara sebep olmuştur (Günaydın, 2020; Altikat vd., 2022). Tek başına mikrodalga ve konvektif kurutma teknikleriyle kurutulan gilaburu meyvesinin renginin, hibrit kurutmaya göre daha koyu olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, ürünlerin sıcak hava ve mikrodalga enerjisine uzun süre maruz kalmasının bir sonucu olarak, polifenollerle reaksiyona giren serbest antosiyaninlerin kimyasal yapısının bozulmasına bağlanmıştır (Yuan vd. 2022).

Gilaburu meyvelerinin kurutulmasında parlaklık değeri açısından vakumlu, dondurarak ve hibrit kurutma yöntemlerinin uygulanabilir olduğu görülmüştür. Buna karşın, konvektif kurutma yöntemi kullanılarak kurutulmuş gilaburu örneklerinde parlaklık düzeyinin önemli ölçüde azaldığı, yani ürün renginin koyulaştığı gözlemlenmiştir. Bu çalışma kapsamında konvektif kurutma hava sıcaklığının düşmesiyle kuruma süresinin arttığı ve parlaklık düzeyinin azaldığı görülmüştür. Vakumlu kurutma tekniğinde uygulanan basınç değerinin artması parlaklık değerini artırmıştır. Öte yandan, mikrodalga ve konvektif kurutma yöntemlerinin birlikte kullanıldığı hibrit kurutma tekniğinde uygulanan sıcaklık seviyesinin azaltılması ürünlerin L^* değerini azaltarak koyuluk artışına sebep olmuştur. Konvektif kurutma yönteminden sonra en fazla koyuluk artışının gölgede kurutma yönteminde olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla bu çalışma kapsamında

gilaburu meyvelerinin kurutulmasında konvektif kurutma ve gölgede kurutma yöntemlerinin parlaklık düzeyi açısından uygun olmadığı sonucuna varılmıştır.

Kırmızı renge sahip olan gilaburu meyvelerinde kurutma sonrası kırmızılık/yeşillik (a^*) parametresinin en yüksek değeri dondurarak kurutma yönteminde ölçülmüştür. Dondurarak kurutma yönteminden sonra en fazla kızarıklık artışı sırasıyla; 100 W + 70 °C, 100 W + 80 °C ve 100 W + 90 °C mikrodalga-sıcaklık uygulamalarının kullanıldığı hibrit ve 100 W çıkış gücünde mikrodalga kurutma yönteminde ölçülmüştür. Tüm kurutma yöntemlerinin gilaburu meyvelerinin kırmızılık değeri açısından uygun olduğu tespit edilmiştir. Rengin mavilik/sarılık düzeyinin bir göstergesi olan b^* parametresinin taze ürüne en yakın değeri sırasıyla; 80 °C + 400 mmHg ve 80 °C + 200 mmHg sıcaklık ve basınç uygulamalarında vakumlu kurutma yönteminde elde edilmiştir. Sarılık/mavilik değerinin (b^*) en yüksek değeri gölgede kurutma tekniğinde ölçülmüştür. Gölgede kurutma yönteminde ölçülen sarılık değerinin taze ürüne kıyasla 3,08 kat arttığı tespit edilmiştir. Ürün renginin pastel ve açık tonlarının belirteci olan kroma değeri taze ürüne en yakın 80 °C + 200 mmHg vakumlu kurutma yönteminde ölçülmüş olup, kroma değerinin 100 W + 70 °C hibrit kurutma yönteminde taze ürüne nazaran %69 oranında arttığı tespit edilmiştir. Tüm kurutma yöntemlerinin kroma değerinde bir miktar artışa sebep olduğu, yani ürünlerin renginde kayda değer miktarda matlaşma meydana gelmediği saptanmıştır.

Toplam renk değişimi açısından taze ürün dikkate alındığından taze örneklerde herhangi bir renk değişimi söz konusu olmamıştır. Toplam renk değişiminin en fazla olduğu yöntemin 70 °C'de konvensiyonel kurutma tekniği olduğu görülmüştür. Bunu gölgede kurutma yöntemi takip etmiştir. Buna karşın, en az renk değişiminin 80 °C + 400 mmHg sıcaklık ve basınç uygulamasında vakumlu kurutma tekniğinde olduğu kaydedilmiştir.

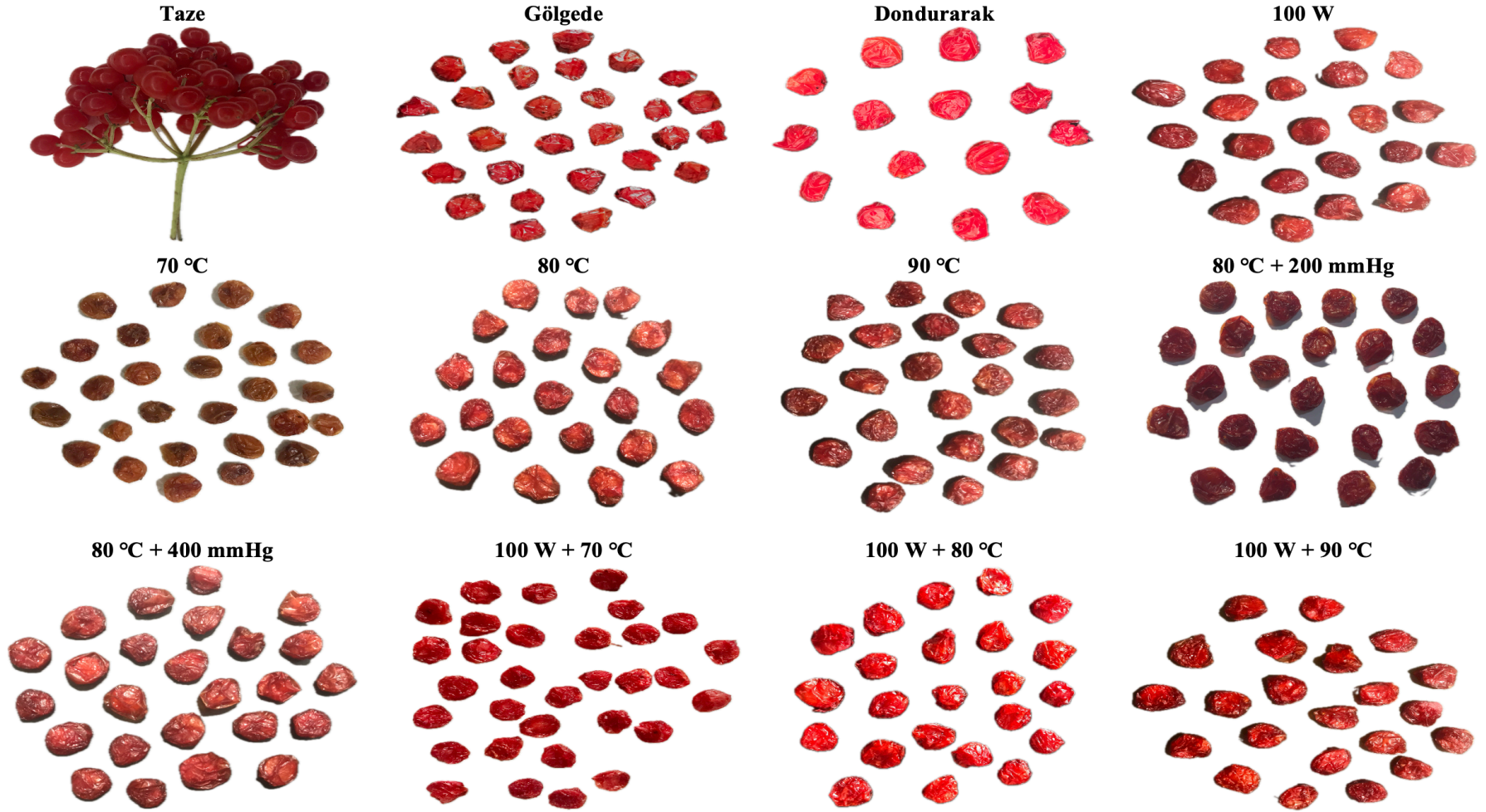
Gilaburu meyvelerinin kırmızı renge sahip olmasından ötürü kahverengileşme indeksinin en yüksek değeri taze üründe ölçülmüştür. Bu durum, tamamen gilaburunun sahip olduğu kırmızı renkten kaynaklanmaktadır. Kahverengileşme indeksinin en düşük değeri, başka bir ifadeyle ürün renginde en fazla sararma/rengin açılmasının meydana geldiği yöntemin, ürünlerin en uzun süre sıcak hava etkisine maruz kaldığı 70 °C'de konvektif kurutma yönteminde olduğu tespit edilmiştir. Bunu sırasıyla; 80 °C + 200 mmHg, 80 °C + 400 mmHg vakumlu, 90 °C hava sıcaklığında konvektif ve gölgede kurutma teknikleri takip

etmiştir. Ürünlerin renginde en fazla sararmanın meydana geldiği 70 °C'deki kahverengileşme indeksi değeri, taze örneklerle göre 8,84 kat daha düşük bulunmuştur. Bununla birlikte, 80 °C + 200 mmHg, 80 °C + 400 mmHg vakumlu, 90 °C hava sıcaklığında konvektif ve gölgede kurutma tekniğinde ölçülen kahverengileşme indeksi değeri taze ürüne kıyasla belirtilen sırayla; 3,47, 3,37, 3,07 ve 1,71 kat daha düşük bulunmuş, yani bu tekniklerle kurutulan gilaburu örneklerinin renginde önemli ölçüde açılmalar/sararmalar meydana gelmiştir. Bunun yanı sıra, taze gilaburu örneklerine en yakın kahverengileşme indeksi değeri -80 °C'de dondurarak kurutulan gilaburu numunelerinde ölçülmüştür. Tüm kurutma yöntemleri içerisinde gilaburu meyvelerinin renk özellikleri bakımından en elverişli kurutma yöntemlerin hibrit (mikrodalga + konvektif), dondurarak ve vakumlu kurutma yöntemleri olduğu sonucuna varılmıştır. Düşük kurutma sıcaklıkları uzun kurutma süresi ile ilişkili olarak gilaburu örneklerinin renk özellikleri üzerinde olumsuz etkilere yol açmıştır (Dal ve Karacabey, 2021). Konvektif ve mikrodalga kurutma yöntemlerinin örneklerin L* (parlaklık) değerini önemli düzeyde azalttığı, yani kararmayı artırdığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla gilaburu örneklerinin kurutulmasında konvektif ve mikrodalga kurutma tekniklerinin renk özellikleri açısından uygun olmadığı görülmüştür. Bu çalışma kapsamında farklı tekniklerle kurutulmuş gilaburu örneklerinin görünümü Şekil 3.6'da verilmiştir.

Tablo 3.6. Taze ve kurutulmuş gilaburu meyvelerinin renk parametreleri

KY	L**	a**	b**	C**	BI**	ΔE^{**}
Taze	34,53±0,3 ^a	43,42±0,3 ^c	8,59±0,3 ^c	30,69±0,4 ^e	256,00±0,5 ^a	-
Gölgede Kurutma	16,82±0,5 ^d	36,23±0,6 ^g	26,46±0,7 ^a	50,71±0,6 ^b	148,88±4,0 ^h	29,53±0,6 ^d
70 °C	11,79±0,4 ⁱ	25,47±0,6 ^j	20,03±0,9 ^c	32,88±0,08 ^{fg}	28,94±0,1 ^g	38,64±0,9 ^a
80 °C	13,29±0,6 ^h	40,24±0,6 ^f	22,84±1,0 ^{abc}	46,74±0,7 ^f	167,49±4,4 ^f	29,31±0,3 ^d
90 °C	12,87±0,4 ⁱ	31,85±0,3 ^h	12,79±0,4 ^d	34,42±0,4 ^h	83,18±2,0 ^{de}	12,44±0,6 ^f
100 W	14,63±0,7 ^g	41,60±0,5 ^e	25,22±1,3 ^{ab}	49,20±0,8 ^d	162,47±4,2 ^e	30,52±0,5 ^c
100 W + 70 °C	15,83±0,7 ^f	44,25±0,6 ^b	26,41±0,8 ^a	51,98±0,6 ^c	157,75±3,4 ^g	31,10±0,5 ^b
100 W + 80 °C	24,36±0,5 ^c	42,44±0,6 ^d	21,83±0,9 ^{bc}	47,99±0,8 ^e	172,33±3,1 ^d	29,91±0,4 ^d
100 W + 90 °C	23,20±0,8 ^d	42,33±0,6 ^d	20,32±0,8 ^c	47,06±0,8 ^e	181,00±2,1 ^e	29,66±0,4 ^d
80 °C + 200 mmHg	24,43±0,4 ^c	27,77±0,3 ⁱ	10,36±0,6 ^{de}	29,83±0,4 ⁱ	73,62±1,5 ⁱ	12,00±0,4 ^f
80 °C + 400 mmHg	26,30±0,6 ^b	30,94±0,5 ⁱ	11,36±0,6 ^{de}	33,13±0,6 ^g	75,88±1,5 ⁱ	10,93±0,5 ^g
Dondurarak Kurutma	22,37±0,9 ^c	50,17±0,6 ^a	24,84±1,1 ^{ab}	60,84±1,3 ^a	182,71±5,6 ^b	25,31±1,2 ^e

P < 0.05 Gruplar arası farklılıklar önemlidir. KM, kurutma yöntemi; L, açıklık/koyuluk; a, kırmızılık/yeşillik; b, sarılık/mavilik; BI, kahverengileşme indeksi; ΔE , toplam renk değişimi; $\pm SH$, standart hata.



Şekil 3.19. Taze ve kurutulmuş gilaburu meyvelerinin görünümü

3.5. Enerji Analizleri

Bir kurutucunun performans değerlendirmesi, kurutma hızı, kurutma verimliliği, spesifik enerji tüketimi, enerji verimliliği ve ürün kalitesi değerlendirmesinin önemli olduğu çeşitli endekslere bağlıdır (Mondal vd., 2019). Farklı kurutucular esas alınarak hesaplanmış olan enerji değerleri Tablo 3.7’de sunulmuştur.

Tablo 3.7. Enerji analizleri

Kurutma Koşulu	KS (dk)	E _c (kWh)	Toplam E _c (kWh)	ÖET (kWh kg ⁻¹)	ÖNÇÖ (kg kWh ⁻¹)	η _{en} (%)	η _{th} (%)
70 °C	1980	0,10	3,17	0,86	1,16	1,87	0,26
80 °C	900	0,26	3,96	2,16	0,46	1,62	0,63
90 °C	450	0,30	2,25	2,55	0,39	2,72	1,20
80 °C+200 mmHg	270	0,34	1,51	2,72	0,37	4,29	2,11
80 °C+400 mmHg	210	0,42	1,47	3,75	0,27	4,00	2,46
100 W	208	0,21	0,71	1,81	0,55	7,31	1,09
100 W + 70 °C	150	0,38	0,96	3,37	0,30	6,29	1,77
100 W + 80 °C	136	0,46	1,03	4,04	0,25	5,74	1,92
100 W + 90 °C	100	0,53	0,88	4,71	0,21	6,61	2,56
Dondurarak	10080	0,06	10,08	0,47	2,14	0,69	0,06

KS, Kuruma Süresi; E_c, Enerji Tüketimi; ÖET, Özgül Enerji Tüketimi; ÖNÇÖ, Özgül Nem Çekme Oranı; η_{en} Enerji Etkinliği; η_{th}, Termal Etkinlik.

Toplam enerji tüketiminin en fazla olduğu yöntem 10,08 kWh ile dondurarak kurutma yöntemi iken, bunu 3,96 kWh ile 80 °C’de konvektif kurutma tekniği izlemiştir. Buna karşın, en düşük toplam enerji tüketimi 0,71 kWh ile mikrodalga kurutma yönteminde ölçülmüştür. Mikrodalga kurutma tekniğinden sonra en düşük toplam enerji tüketiminin 0,88 kWh ile 100 W + 90 °C’de hibrit kurutma yönteminde olduğu saptanmıştır. En yüksek toplam enerji tüketim değerlerinin konvektif kurutmada 2,25-3,96 kWh arasında değiştiği kaydedilmiştir. Kurutucu performans değerlerinden biri olan özgül enerji tüketiminin en yüksek değeri 100 W + 90 °C’de hibrit kurutma yönteminde 4,75 kWh kg⁻¹ olarak ölçülürken, en düşük değeri dondurarak kurutma tekniğinde 0,41 kWh kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Çalışmamızda konvektif ve hibrit kurutma yöntemlerinde kurutucu hava

sıcaklığının yükseltilmesiyle özgül enerji tüketiminin arttığı kaydedilmiştir. Benzer şekilde, vakumlu kurutma tekniğinde uygulan basınç değerinin yükseltilmesi özgül enerji tüketiminin artmasına sebep olmuştur.

Enerji etkinliğinin (%) en yüksek değerinin mikrodalga kurutma tekniğinde olduğu tespit edilmiştir. Mikrodalga kurutma tekniğinde ölçülen enerji etkinliği değerinin dondurarak kurutma yönteminde belirlenen enerji etkinliğine kıyasla 10,59 kat daha yüksek olduğu saptanmıştır. Tüm kurutucu sistemler dikkate alındığında enerji etkinliği açısından en iyi sonuçlar sırasıyla; mikrodalga, hibrit ve vakumlu kurutma tekniklerinde elde edilmiştir. Bunun yanı sıra, oda koşullarındaki (25 °C sıcaklık ve %60-65 bağıl nem) gölgede kurutma yönteminde herhangi bir enerji tüketiminin olmadığı varsayılmıştır. Ancak gölgede kurutma yönteminde gilaburu meyvelerinin kuruması toplamda 33 gün gibi çok uzun bir sürede gerçekleşmiştir. Bu süre dikkate alındığında gilaburu meyvelerinin kurutulmasında gölgede kurutma tekniğinin uygulanabilir olmadığı görülmüştür. Liyofilizatörün enerji analizinde, kurutma sistemindeki yapısal farklılıklardan dolayı diğer sistemlerden farklı eşitlikler kullanılmıştır. Bulgularımıza göre, özgül nem çekme oranının (ÖNÇO) en yüksek değeri 2,14 kg kWh⁻¹ ile dondurarak kurutma tekniğinde ölçülmüş olup, bunu 1,16 kg kWh⁻¹ ile 70°C’de konvektif kurutma tekniği izlemiştir. En düşük özgül nem çekme oranı 100 W + 90 °C’de hibrit kurutma yönteminde 0,21 kg kWh⁻¹ olarak belirlenmiştir. Termal etkinliğin (%) en yüksek değeri en kısa kurutma süresine sahip olan 100 W + 90 °C’de ölçülmüştür. Bunu, sırasıyla; 80 °C + 400 mmHg ve 80 °C + 200 mmHg’de vakumlu kurutma teknikleri takip etmiştir. En düşük termal etkinlik değerinin ise en uzun kurutma süresine sahip olan dondurarak kurutma tekniğinde olduğu kaydedilmiştir. Uygulanan sıcaklık ve basınç düzeyinin artmasıyla termal etkinliğin (%) de arttığı raporlanmıştır.

3.6. Rehidrasyon Kapasitesi ve Büzülme Oranı

Rehidrasyon kapasitesi kurutulmuş ürünlerin taze haldeyken içerdiği su miktarını yeniden kazanabilme yeteneği olup, ürün kalitesini belirleyen önemli bir belirteçtir (Kovacı ve Dikmen, 2018). Bir ürünün rehidrasyon özelliği, kurutucu sıcaklığının örneklerin hücre dokusu ve hücre zarına etkisiyle gelişmektedir (Vega-Gálvez vd., 2015). Bu çalışma kapsamında farklı kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulmuş gilaburu meyvelerinin rehidrasyon kapasitesi ve büzülme oranı değerleri Tablo 3.8’de verilmiştir.

Tablo 3.8. Rehidrasyon kapasitesi ve büzülme oranı

Kurutma Yöntemi	Rehidrasyon Kapasitesi	Büzülme Oranı
Gölgede Kurutma	1,25±0,8 ^b	0,44±0,06 ^{ab}
70 °C	1,32±0,1 ^b	0,56±0,12 ^{ab}
80 °C	1,49±0,3 ^b	0,63±0,03 ^{ab}
90 °C	1,29±0,9 ^b	0,66±0,08 ^{ab}
100 W	1,89±0,10 ^b	0,33±0,06 ^b
100 W + 70 °C	2,05±0,33 ^b	0,40±0,17 ^{ab}
100 W + 80 °C	2,22±0,30 ^{ab}	0,48±0,08 ^{ab}
100 W + 90 °C	2,16±0,20 ^{ab}	0,79±0,05^a
80 °C + 200 mmHg	2,55±0,5 ^{ab}	0,47±0,05 ^{ab}
80 °C + 400 mmHg	1,92±0,40 ^b	0,56±0,05 ^{ab}
Dondurarak Kurutma	3,92±0,8^a	0,31±0,06 ^b

P<0.05 düzeyinde gruplar arası farklılık önemlidir.

Çalışmada, rehidrasyon kapasitesi açısından en iyi sonuçlar dondurarak kurutma yönteminde elde edilmiştir. Bu yöntemi, 80 °C + 200 mmHg sıcaklık ve basınç uygulamasında vakumlu kurutma takip etmiştir. Buna karşın, en düşük rehidrasyon kapasitesi değeri gölgede kurutma yönteminde ölçülmüştür. Gilaburu örneklerinin konvektif kurutulmasında uygulanan sıcaklık düzeyinin 70 °C'den 90 °C'ye çıkarılması rehidrasyon kapasitesinin azalmasına sebep olmuştur. Bu durumun, yüksek sıcaklık etkisi ile örneklerin mikro yapısındaki hasarın fazla olması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir (Vega-Gálvez vd., 2015). Benzer şekilde, vakumlu kurutma tekniğinde uygulanan basınç düzeyinin yükseltilmesi rehidrasyon kapasitesini düşürmüştür. Dondurarak kurutma yönteminde ölçülen rehidrasyon kapasitesi değerinin, en düşük rehidrasyon oranına sahip olan gölgede kurutma yönteminden 3,16 kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Rehidrasyon oranı yükseldikçe ürünün suyu çekme kabiliyeti artmış ve ana ürüne yakın özellikler elde edilmiştir. Çalışmada, gilaburu örneklerinin kurutulmasında rehidrasyon kapasitesi bakımından hibrit (mikroalga+konvektif), dondurarak ve vakumlu kurutma yöntemlerinin uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır. En düşük rehidrasyon oranının ölçüldüğü 100 W'da mikroalga, 70 °C, 80 °C ve 90 °C hava sıcaklıklarında konvektif ve

gölgede (doğal) kurutma yöntemleri gilaburu örneklerinin kurutulmasında rehidrasyon kapasitesi açısından önerilmemektedir.

Çalışmada, en yüksek büzülme oranı değeri 100 W + 90 °C’de ölçülürken, bunu 90 °C’de konvektif kurutma yöntemi takip etmiştir. Buna karşın, en düşük büzülme oranının dondurarak kurutulmuş gilaburu örneklerinde olduğu saptanmıştır. Hibrit kurutma yönteminde ölçülen büzülme oranının dondurarak kurutmaya kıyasla 2,54 kat daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Kurutma sıcaklığının yükseltilmesiyle büzülme oranının arttığı tespit edilmiştir. Dondurarak kurutma tekniğinde örneklerin camsı geçiş sıcaklığının altındaki sıcaklıklara maruz bırakılması sonucu ürün bünyesindeki gözenek sayısı artmakta ve daha az çökme meydana gelmektedir (Aksoy, 2019). Kurutulmuş gilaburu örneklerindeki en düşük büzülme oranının dondurarak kurutma yönteminde ölçülmesinin camsı geçiş sıcaklığı ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

3.7. pH ve Suda Çözünen Kuru Madde Miktarı (°Briks)

Çalışmada gilaburu örnekleri kurutulmadan önce ve kurutulduktan sonra pH ve Brix° miktarlarının ortalama değerleri belirlenmiş ve Tablo 3.9’da verilmiştir. Taze üründe pH değeri 3,40 olarak kaydedilmiştir. Kurutulmuş örneklerde en yüksek pH değeri 5,31 ile gölgede kurutma tekniğinde ölçülmüştür. Bunu, 4,82 ile 90 °C’de konvektif kurutma yöntemi takip etmiştir. Gölgede kurutma yönteminde ölçülen pH değerinin taze ürüne kıyasla %36 daha yüksek olduğu raporlanmıştır. Konvektif kurutma tekniğinde artan sıcaklık düzeyinin pH değerini artırdığı tespit edilmiştir. Çarpıcı şekilde, hibrit kuruma yönteminde artan sıcaklık seviyesi pH değerinin azalmasına yol açmıştır. Taze ürüne en yakın pH değeri 3,55 ile dondurarak kurutma tekniğinde ölçülmüştür. Ayrıca vakumlu kurutma tekniğinde uygulanan basınç düzeyinin yükseltilmesi pH değerini artırmıştır. Suda çözünen kuru madde miktarı (Brix°) taze üründe 4,30 olarak belirlenmiştir. Kurutulmuş örneklerde en yüksek Brix° değeri 7,5 ile 80 °C’de konvektif kurutmada yönteminde ölçülmüştür. Buna karşın, en düşük suda çözünen kuru madde miktarının 2,9 ile dondurarak kurutma yönteminde olduğu kaydedilmiştir. Vakumlu kurutmada basınç değerinin azaltılması Brix° değerinde bir miktar artışa neden olmuştur. Hibrit kurutma tekniğinde Brix° değerleri 5,9-6,4 arasında değişirken, konvektif kurutmada 6,6-7,5 arasında, gölgede kurutma tekniğinde ise bu değer 6,7 olarak ölçülmüştür. Tüm kurutma

sistemleri dikkate alındığında dondurarak kurutma dışındaki tüm yöntemlerin Brix° açısından uygulanabilir olduğu görülmüştür.

Tablo 3.9. pH ve Brix° değerleri

Kurutma Yöntemi	pH	Brix° (%)
Dondurarak Kurutma	3,55 ⁱ	2,9 ⁱ
Gölgede Kurutma	5,31 ^a	6,7 ^c
70 °C	4,26 ^c	7,1 ^b
80 °C	4,46 ^c	7,5 ^a
90 °C	4,82 ^b	6,6 ^{cd}
100 W	3,83 ^f	6,9 ^c
100 W + 70 °C	3,78 ^g	6,4 ^{cd}
100 W + 80 °C	3,71 ^h	5,9 ^{ef}
100 W + 90 °C	3,70 ^h	6,0 ^e
80 °C + 400 mmHg	4,73 ^c	5,2 ^g
80 °C + 200 mmHg	4,31 ^d	5,6 ^f
Taze	3,40 ⁱ	4,3 ^h

P<0.05 düzeyinde gruplar arası farklılık önemlidir.

3.8. Makro ve Mikro Besin Elementi Konsantrasyonu

Taze ve kurutulmuş gilaburu meyvelerinin makro besin elementi konsantrasyonu Tablo 3.10'da; mikro besin elementi konsantrasyonu Tablo 3.11'de verilmiştir. Taze gilaburu meyvelerinin makro-mikro besin elementi konsantrasyonunun kurutulmuş örneklerle kıyasla daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Kurutma esnasında örneklerdeki suyun büyük bir bölümünün buharlaşması sonucu, kurutulmuş ürünler besin içeriği açısından daha konsantre hale gelmektedir. Bu çalışma kapsamında gilaburu örnekleri başlangıç ağırlığının yaklaşık 1/5'ine kadar kurutulmuştur. Dolayısıyla birim ürünün besin elementi konsantrasyonu da yine aynı ölçüde artmıştır (Günaydın, 2020). Taze örneklerin besin elementi konsantrasyonu kurutulmuş ürünlere kıyasla daha düşük olmaktadır (Bonazzi ve Dumoulin, 2011).

Tablo 3.10. Gilaburu meyvelerinin makro besin elementi konsantrasyonu (ppm)

Kurutma Yöntemi	P	S	Mg	K	Ca
Taze	141,82±2,0 ^e	77,1±1,5 ^g	197,0±0,7 ^h	487,3±0,6 ⁱ	119,2±0,5 ⁱ
70 °C	129,79±1,0 ^f	79,1±3,7 ^f	689,0±1,0 ^g	1917,4±1,7 ^g	655,6±0,7 ^g
80 °C	166,77±3,0 ^e	80,7±2,5 ^e	823,6±0,9 ^e	2574,8±1,3 ^a	768,7±0,1 ^e
90 °C	158,81±1,8 ^f	73,1±1,5 ^e	729,4±0,6 ^f	2042,3±0,7 ^d	661,7±0,6 ^h
100 W	174,81±2,4 ^c	81,6±1,4 ^d	845,4±1,3 ^c	1931,7±1,0 ^f	833,4±0,5 ^c
100 W + 70 °C	196,08±1,0 ^a	91,8±1,5 ^a	839,7±0,6 ^d	2333,8±1,5 ^b	787,1±0,8 ^d
100 W + 80 °C	173,13±3,4 ^{bc}	78,3±2,4 ^{cd}	904,0±0,4 ^a	2170,8±0,7 ^c	871,1±1,0 ^a
100 W + 90 °C	169,89±2,2 ^d	89,2±3,2 ^b	774,9±1,5 ^f	2022,5±1,2 ^c	771,2±1,7 ^d
80 °C + 400 mmHg	188,8±2,4 ^b	85,8±2,0 ^c	742,7±1,2 ^g	2347,4±1,3 ^c	697,9±1,3 ^g
80 °C + 200 mmHg	186,5±1,3 ^{ab}	90,9±4,4 ^{ab}	884,7±1,6 ^b	2259,8±1,6 ^d	854,2±0,7 ^b
Dondurarak	84,8±4,5 ^h	39,2±5,8 ⁱ	507,4±1,8 ⁱ	1665,1±1,6 ⁱ	580,5±2,3 ⁱ
Gölgede	110,5±2,5 ^g	56,9±4,7 ^h	715,5±2,0 ^h	1813,5±2,0 ^h	741,8±1,4 ^f

Gruplar arası farklılıklar P<0.05 düzeyinde önemlidir. P, fosfor; S, sülfür; K, potasyum; Ca, kalsiyum; Mg, magnezyum. ± standart hata.

Bulgularımıza göre, tüm kurutma yöntemleri içerisinde Fosfor (P), Kükürt (S), Sodyum (Na) ve Çinko (Zn) içeriği açısından en iyi sonuçları veren yöntemin 100 W + 70 °C’de hibrit kurutma yöntemi olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın, bakır (Cu), manganez (Mn) ve kalsiyum (Ca) içeriğinin en iyi korunduğu yöntemin 80 °C + 200 mmHg sıcaklık ve basınç uygulamasında vakumlu kurutma tekniği olduğu kaydedilmiştir. Öte yandan, demir (Fe) ve potasyum (K) içeriği bakımından en iyi sonuçlar 80 °C’de konvektif kurutma tekniğinde elde edilmiştir. Bununla birlikte, magnezyum (Mg) içeriği bakımından en iyi sonuçları veren yöntemin 100 W + 80 °C hibrit kurutma yöntemi olduğu saptanmıştır. Dondurarak kurutma yönteminde, fosfor ve kükürt içeriğinin taze ürüne kıyasla belirtilen sırayla; %67 ve %42 daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Fosfor konsantrasyonu 100 W + 70 °C’de hibrit kurutma yönteminde taze ürüne oranla %38 daha yüksek bulunmuştur. Bunu, %33’lük bir oranla 80 °C + 200 mmHg’de vakumlu kurutma yöntemi takip etmiştir. Dondurarak kurutma tekniğinde ölçülen fosfor içeriğinin 100 W + 70 °C hibrit kurutma yöntemine kıyasla 2.31 kat daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Kurutulmuş gilaburu örneklerinde dondurarak kurutma yönteminden sonra en düşük fosfor konsantrasyonu gölgede kurutma yönteminde ölçülmüştür.

Tablo 3.11. Gilaburu meyvelerinin mikro besin elementi konsantrasyonu (ppm)

Kurutma Yöntemi	Na	Mn	Fe	Cu	Zn
Taze	400,6±0,7 ^g	1,2±0,3 ⁱ	53,0±1,8 ^d	31,6±0,9 ^d	10,1±0,4 ^b
70 °C	183,7±0,2 ⁱ	3,4±0,4 ^g	42,9±0,4 ^f	35,9±0,3 ^c	9,3±1,3 ^c
80 °C	325,7±0,6 ⁱ	3,8±0,8 ^e	68,6±1,8 ^a	21,1±1,5 ^f	10,2±0,8 ^b
90 °C	382,7±1,0 ^h	3,8±0,1 ^e	32,0±1,0 ⁱ	26,7±0,8 ^d	8,3±1,0 ^d
100 W	474,4±1,1 ^d	3,9±0,3 ^d	33,0±1,5 ⁱ	36,2±1,1 ^b	9,4±0,5 ^c
100 W + 70 °C	528,8±1,0 ^a	4,1±0,4 ^c	58,6±0,7 ^b	11,7±0,9 ^g	12,5±0,9 ^a
100 W + 80 °C	442,6±0,9 ^e	4,2±0,2 ^b	34,8±1,3 ^h	22,2±0,6 ^f	8,05±0,6 ^d
100 W + 90 °C	413,3±0,4 ^f	4,1±0,5 ^c	56,4±0,2 ^c	22,2±0,4 ^f	10,6±0,8 ^b
80 °C + 400 mmHg	501,0±0,6 ^b	3,3±0,8 ^h	37,8±0,8 ^g	30,9±1,1 ^e	8,7±0,7 ^d
80 °C + 200 mmHg	486,0±0,6 ^c	4,5±0,5 ^a	52,4±1,4 ^c	45,1±1,5 ^a	10,5±1,4 ^b
Dondurarak	177,9±2,2 ^k	2,6±0,2 ⁱ	25,4±2,2 ⁱ	8,6±1,7 ^g	10,4±1,9 ^b
Gölgede	178,7±1,5 ^j	3,7±0,5 ^f	53,5±2,6 ^d	22,5±1,0 ^f	9,2±2,4 ^c

Gruplar arası farklılıklar P<0.05 düzeyinde önemlidir. Na, sodyum; Fe, demir; Cu, bakır; Mn, manganez; Zn, çinko. ± standart hata.

Kükürt içeriği bakımından en belirgin kayıp dondurarak kurutma yönteminde belirlenirken, bunu gölgede kurutma yöntemi izlemiştir. Dondurarak kurutma yöntemindeki kükürt içeriğinin, en yüksek düzeyde ölçüldüğü 100 W + 70 °C hibrit kurutma yöntemine kıyasla 2.34 kat daha düşük olduğu belirlenmiştir. Hibrit kurutma tekniğinde kükürt konsantrasyonunun taze ürüne kıyasla %19 arttığı saptanmıştır. Magnezyum (Mg) içeriğinin en yüksek değeri 100 W + 80 °C hibrit kurutma tekniğinde ölçülmüş olup, bunu 80 °C + 200 mmHg'de vakumlu kurutma yöntemi izlemiştir. Hibrit kurutma tekniğinde ölçülen magnezyum konsantrasyonunun taze ürüne kıyasla 4.58 kat daha yüksek olduğu kaydedilmiştir. Buna karşın, en düşük magnezyum içeriği dondurarak kurutma yönteminde elde edilmiştir. Sodyum içeriği bakımından en belirgin

kaybın sırasıyla; dondurarak kurutma ve gölgede kurutma yöntemlerinde olduğu saptanmıştır. Buna karşın, en yüksek sodyum içeriği 100 W + 70 °C hibrit kurutma tekniğinde ölçülmüştür. Dondurarak kurutma yönteminde sodyum içeriğinin en yüksek seviyede ölçüldüğü hibrit kurutma yöntemine kıyasla 2.97 kat daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Hibrit kurutma yönteminde sıcaklık seviyesinin yükseltilmesiyle kurutulmuş gilaburu örneklerinde fosfor, kükürt ve sodyum konsantrasyonunun azaldığı tespit edilmiştir.

Kurutulmuş gilaburu örneklerinde en yüksek potasyum konsantrasyonu sırasıyla; 80 °C'de konvektif ve 80 °C + 400 mmHg'de vakumlu kurutmada belirlenmiştir. Bu yöntemlerdeki potasyum içeriğinin taze ürüne kıyasla belirtilen sırayla; 5,28 ve 4,81 kat daha yüksek olduğu saptanmıştır. Potasyum konsantrasyonunun en düşük değeri sırasıyla; dondurarak kurutma ve gölgede kurutma yöntemlerinde ölçülmüştür. Bu yöntemlerde ölçülen potasyum konsantrasyonunun taze ürüne kıyasla belirtilen sırayla 3,41 ve 3,72 kat arttığı tespit edilmiştir. Hibrit kurutma yöntemi ile kurutulmuş gilaburu meyvelerinin potasyum konsantrasyonu kurutma hava sıcaklığının yükseltilmesiyle azalmıştır. Vakumlu kurutma tekniğinde uygulanan basınç değerinin artırılması gilaburu örneklerinde potasyum, sodyum ve fosfor konsantrasyonunun artmasını sağlamıştır. Buna karşın, basınç değerinin yükseltilmesi kükürt, magnezyum, kalsiyum, mangan, demir, bakır ve çinko konsantrasyonunun azalmasına yol açmıştır. Kalsiyum konsantrasyonunun en yüksek değeri 100 W + 80 °C hibrit kurutma tekniğinde ölçülmüş olup, bu yöntemde belirlenen kalsiyum içeriğinin taze gilaburuya kıyasla 7,30 kat artış gösterdiği bulgulanmıştır.

Kalsiyum konsantrasyonunun en düşük değeri dondurarak kurutma tekniğinde ölçülmüş ve bu yöntemdeki kalsiyum içeriğinin taze ürüne göre 4,86 kat daha yüksek seviyede olduğu bulgulanmıştır. Mangan konsantrasyonunun en yüksek düzeyde ölçüldüğü yöntemin 80 °C + 200 mmHg'de vakumlu kurutma tekniği olduğu tespit edilmiştir. Bu yöntemde ölçülen mangan içeriği taze gilaburuya nazaran 3,70 kat daha yüksek bulunmuştur. Buna karşın, en düşük mangan içeriği dondurarak kurutma tekniğinde elde edilmiştir. Kurutulmuş gilaburu meyvelerinde demir içeriğinin en iyi korunduğu yöntemin 80 °C konvektif kurutma tekniği olup, tüm kurutma yöntemleri için demir içeriği bakımından belirgin bir kaybın meydana gelmediği görülmüştür. Taze ürüne

kıyasla 80 °C’de kurutulmuş gilaburu meyvelerindeki demir içeriği %29 oranı arttığı saptanmıştır.

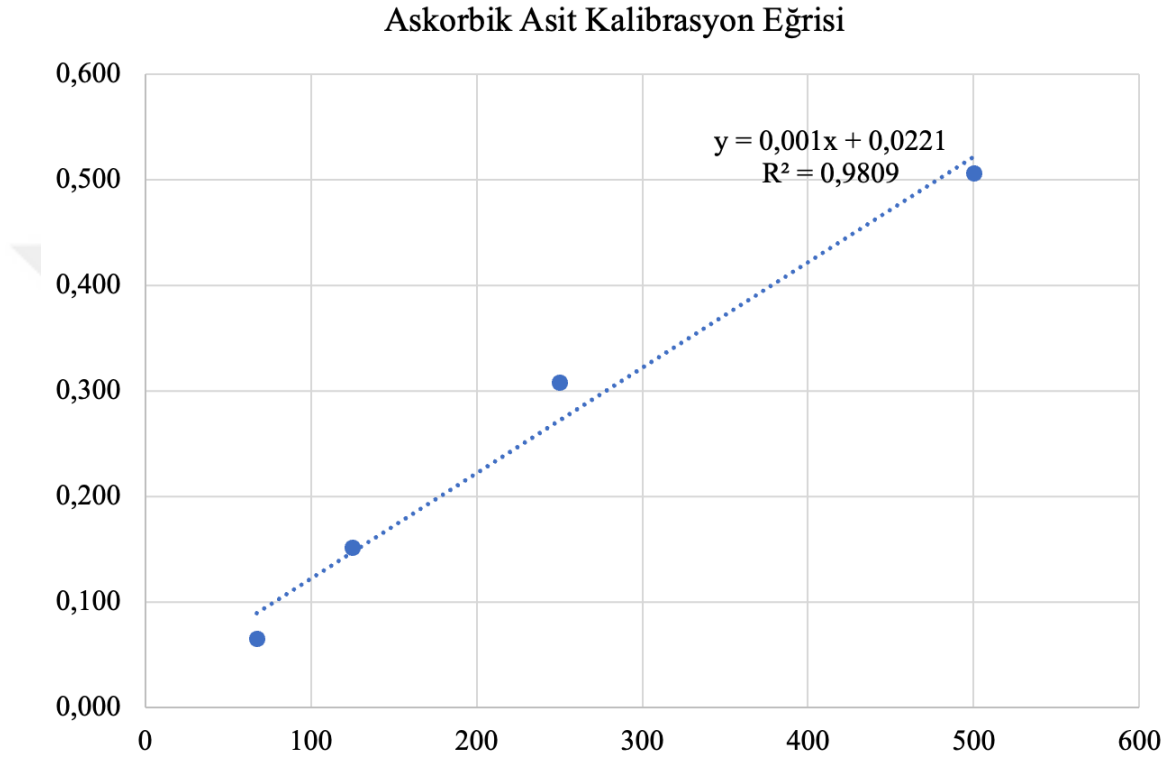
Bakır konsantrasyonunun en yüksek değeri 80 °C + 200 mmHg’de vakumlu kurutmada ölçülürken, en belirgin kaybın dondurarak kurutma yönteminde olduğu kaydedilmiştir. Vakumlu kurutma yöntemindeki bakır içeriğinin dondurarak kurutma tekniğine kıyasla 5,25 kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Vakumlu kurutma tekniğinde uygulanan basınç düzeyinin artırılmasının bakır konsantrasyonunun azalmasına yol açtığı görülmüştür. Benzer şekilde, konvektif kurutma yönteminde kurutucu hava sıcaklığının artırılması bakır konsantrasyonunun azalmasına yol açmıştır. Çinko içeriği bakımından en elverişli sonuçlar 100 W + 70 °C hibrit kurutma yönteminde elde edilmiştir. Çalışmada gilaburu örneklerinin makro ve mikro besin elementi içeriği kurutma yöntemine, uygulanan sıcaklık ve basınç düzeyine göre farklılık göstermiştir. Bu durum her elementin sıcaklık koşullarına verdiği farklı tepkilerden kaynaklanmaktadır (Çetin vd. 2023).

Bu çalışma kapsamında gilaburu meyvelerinin kurutulmasında makro ve mikro besin elementleri bakımından en iyi sonuçları veren yöntemlerin sırasıyla; 100 W + 70 °C hibrit kurutma yöntemi ve 80 °C + 200 mmHg’de vakumlu kurutma yöntemleri olduğu sonucuna varılmıştır. Özellikle dondurarak ve gölgede kurutma yöntemleri besin elementi konsantrasyonu açısından belirgin kayıplara neden olmuştur. Öte yandan, konvektif ve mikrodalga kurutma tekniklerinin besin elementi içeriği açısından gilaburu meyvelerinin kurutulmasında uygun yöntemler olmadığı görülmüştür. En uzun kuruma sürelerine sahip olan, gölgede, dondurarak, 70 °C’de konvektif ve 100 W’da mikrodalga kurutma yöntemleri, uzun süre hava ile temas eden ürünlerde oksidasyonun artmasına, bununla ilişkili olarak da makro-mikro besin elementlerinde ciddi kayıplara neden olmuştur (Gunaydin ve Alibas, 2023).

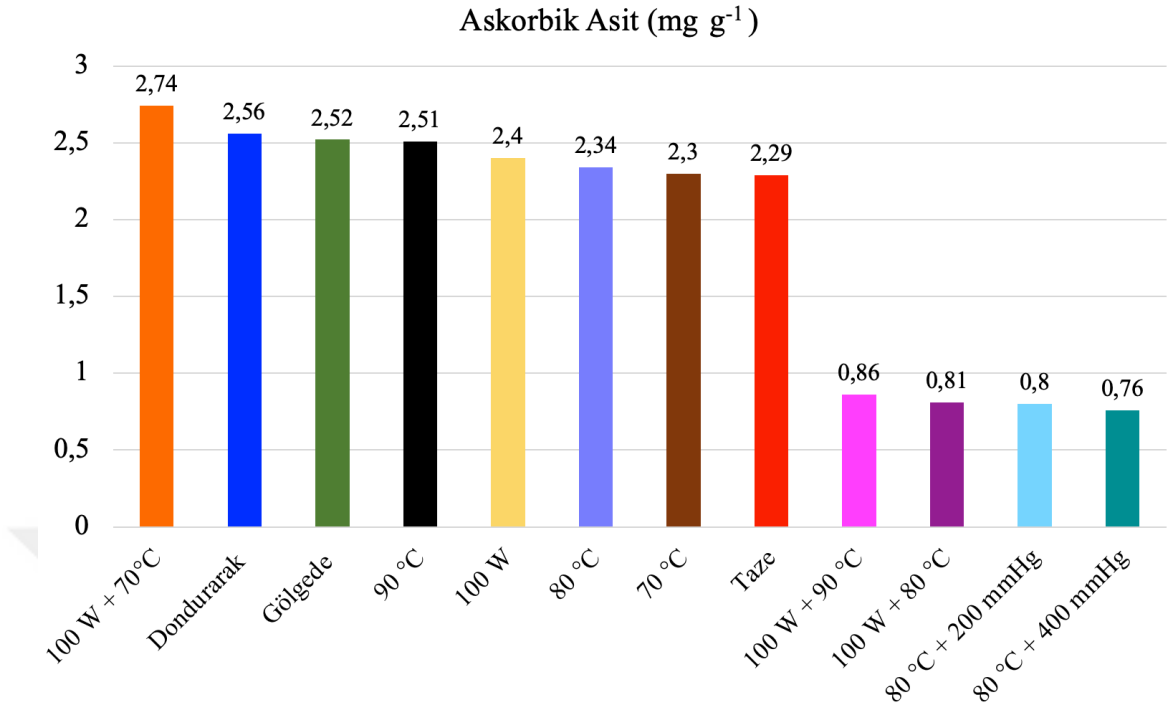
3.9. Askorbik Asit (C Vitamini) İçeriği

Askorbik asit, kurutulmuş ürünlerin kalitesini belirleyen, sıcaklığa ve oksijen miktarına bağlı olarak degradasyona eğilimli bir vitamindir (Taşkın ve Yıldız, 2012; Peleg vd., 2016). Kurutma işleminden sonra askorbik asit içeriği ile makro-mikro besin elementleri arasında pozitif yönlü doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Başka bir deyişle, ürünlerin

askorbik içeriği ne kadar yüksekse besin elementi konsantrasyonu da o kadar yüksek olmaktadır (Dönmez ve Kadakal, 2024). Taze ve kurutulmuş gilaburu meyvelerinin askorbik asit içeriğinin hesaplanmasında dikkate alınan kalibrasyon eğrisi Şekil 3.20’de, taze ve kurutulmuş meyvelerin askorbik asit içeriği Şekil 3.21’de verilmiştir.



Şekil 3.20. Askorbik asit kalibrasyon eğrisi



Şekil 3.21. Taze ve kurutulmuş gilaburu meyvelerinin askorbik asit içeriği

Bulgularımıza göre, askorbik asit içeriğinin en yüksek değeri 100 W + 70 °C’de hibrit kurutma tekniğinde 2,74 mg g⁻¹ olarak ölçülmüştür. Bunu sırasıyla; 2,56 mg g⁻¹ ve 2,52 mg g⁻¹ olarak dondurarak ve gölgede kurutma yöntemleri takip etmiştir. Buna karşın, en düşük askorbik asit içeriğinin 0,86 mg g⁻¹ ile 100 W + 90 °C’de hibrit kurutma tekniğinde olduğu tespit edilmiştir. Askorbik asitin en yüksek değerinin ölçüldüğü 100 W + 70 °C’deki değer, 100 W + 90 °C’den 3,18 kat daha yüksek bulunmuştur. Bununla birlikte, dondurarak ve gölgede kurutma tekniklerinde ölçülen askorbik asit içeriğinin 100 W + 90 °C’den sırasıyla; 2,97 ve 2,93 kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Konvektif kurutma sıcaklığının yükseltilmesiyle askorbik asit içeriğinin arttığı tespit edilmiştir.

Vakumlu kurutma tekniğinde uygulanan basınç değerinin yükseltilmesi askorbik asit (C vitamini) konsantrasyonunun artmasına neden olmuştur. Çarpıcı şekilde, hibrit kurutma tekniğinde kurutucu hava sıcaklığının yükseltilmesi askorbik asit içeriğinin azalmasına yol açmıştır. Tüm kurutma sistemleri dikkate alındığında en düşük askorbik asit vakumlu ve hibrit kurutma (100 W + 80 °C ve 100 W + 90 °C) yöntemlerinde ölçülürken, en yüksek değerler dondurarak ve gölgede kurutma tekniklerinde belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında, gilaburu meyvelerinin 70 °C, 80 °C ve 90 °C’de konvektif kurutulmasında en uzun kuruma süresine sahip olan 70 °C’de meyveler havadaki oksijene çok uzun süre

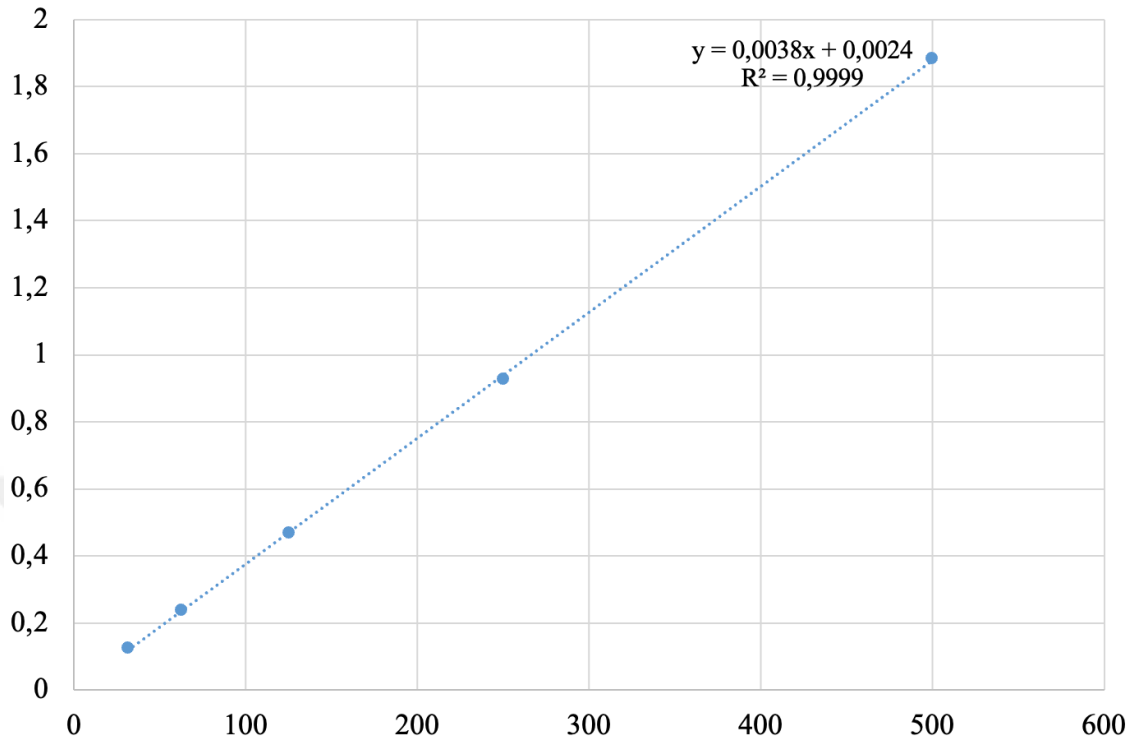
maruz kalmış ve oksijenin bol olduğu ortamda askorbik asit kolayca okside olmuştur. Yani, uzun kuruma süresi ürünlerin oksijen ile temas süresini artırarak askorbik asit içeriğinin azalmasına yol açmıştır. Askorbik içeriği bakımından istatistiksel olarak dondurarak, gölgede, mikrodalga ve 90 °C’de hibrit kurutma aynı grupta yer alırken, 100 W + 80 °C ve 100 W + 90 °C hibrit kurutma ile vakumlu kurutma aynı grupta yer almaktadır. Bununla birlikte, taze örnekler ile 70 °C’de konvektif kurutma askorbik asit içeriği bakımından benzer sonuçları vermiş ve istatistiksel olarak aynı gruba dahil olmuştur. Ek olarak, farklı kurutma koşullarının kurutulmuş gilaburu meyvelerinde askorbik asit içeriği açısından farklılıklar göstermiş olup, bu farkın istatistiksel olarak ($P < 0.01$) önemli olduğu tespit edilmiştir.

3.10. Toplam Fenolik Madde Miktarı

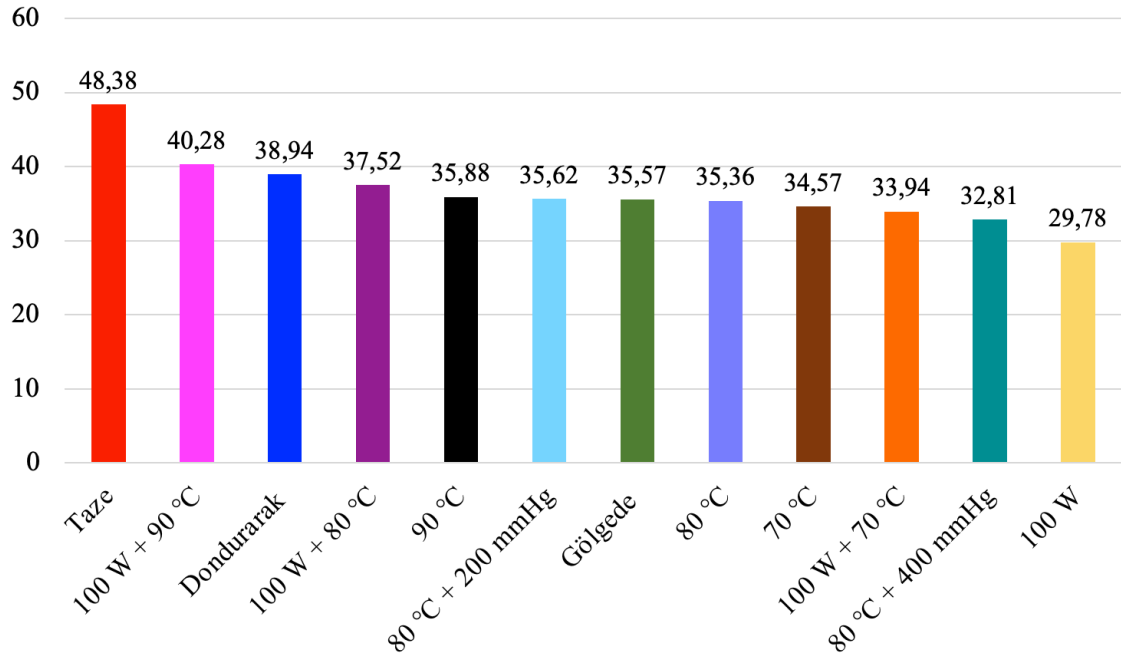
Fenolik bileşikler, meyvelerin, sebzelerin ve tahılların karakteristik özelliklerinin (renk, koku, tat, aroma) oluşmasını sağlayan doğal bir antioksidan kaynağıdır (Karabulut ve Yemiş, 2019). Oksidasyona neden olan enzimleri inaktivite etmeleri sebebiyle kemik erimesi, kanser, kalp damar hastalıkları, diyabet ve nörolojik rahatsızlıklara karşı koruyucu etkileri bulunmaktadır (Kolaç vd., 2017). Toplam fenolik madde ile antioksidan aktivasyonu arasında pozitif yönlü doğrusal bir ilişki vardır (Uğur ve Sarı 2022; Erkorkmaz vd., 2023).

Taze ve kurutulmuş gilaburu meyvelerinin toplam fenolik madde miktarının belirlenmesinde kullanılan kalibrasyon eğrisi Şekil 3.22’de, meyvelerin toplam fenolik miktarı Şekil 3.23’te verilmiştir. Gilaburu meyvelerinin en yüksek toplam fenolik madde miktarı 48,38 mg GAE g⁻¹ olarak taze üründe belirlenmiştir. Bunu, 40,28 mg GAE g⁻¹ ile 100 W + 90 °C hibrit kurutma tekniği izlemiştir. Toplam fenolik madde açısından en belirgin kayıp 100 W’da mikrodalga kurutma tekniğinde ölçülmüştür. Mikrodalga kurutma tekniğinde ölçülen toplam fenolik madde miktarının, taze üründen ve hibrit kurutma tekniğinden sırasıyla; % 35 ve % 62 oranında daha düşük olduğu kaydedilmiştir.

Gallik Asit Eğrisi



Şekil 3.22. Toplam fenolik madde kalibrasyon eğrisi

Toplam Fenolik (mg g^{-1})

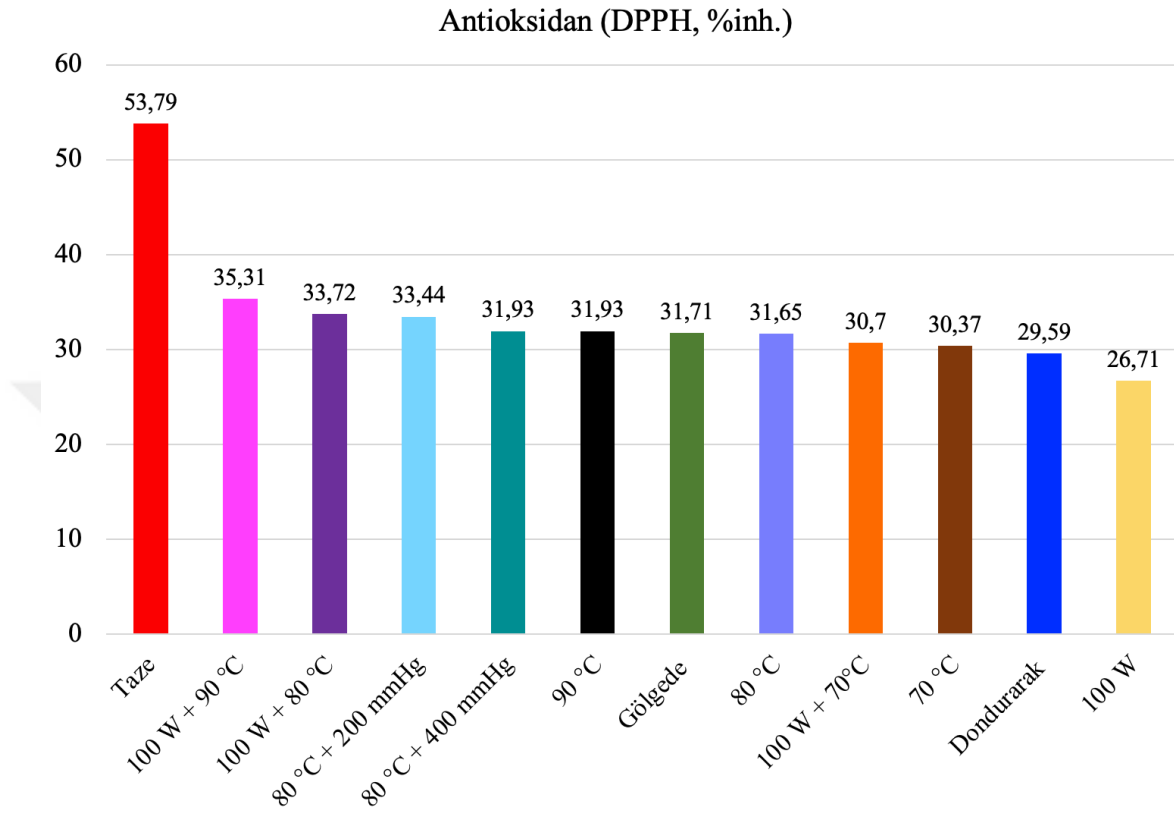
Şekil 3.23. Taze ve kurutulmuş gilaburu meyvelerinin toplam fenolik miktarı

Çalışmada uygulanan farklı kurutma işlemleri taze ürüne göre fenolik madde içeriğinde bir miktar kayıplara neden olmuştur. Konvektif ve hibrit kurutma tekniklerinde kurutucu hava sıcaklığının yükseltilmesi gilaburu meyvelerinin toplam fenolik madde miktarında artışa sebep olmuştur. Sıcaklık seviyesinin azaltılması toplam fenolik madde miktarının azalmasına yol açmıştır. Bunun, düşük sıcaklıklardaki uzun kuruma sürelerinde polifenoloksidaz ve peroksidaz gibi enzimlerin inaktif olamamasıyla ilişkili olarak, oto-oksidasyon sonucu toplam fenolik madde miktarının azalmasıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir (Minatel vd., 2017). Buna karşın, vakumlu kurutma yönteminde uygulanan basınç etkisinin artması fenolik madde miktarında azalmaya yol açmıştır. Çalışmada toplam fenolik madde bakımından tüm kurutma yöntemleri kabul edilebilir düzeydeydi. Ancak, dondurarak ve 100 W + 80 °C’de hibrit kurutma teknikleri istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. Benzer şekilde, konvektif, gölgede kurutma ile 80 °C + 200 mmHg’de vakumlu kurutma toplam fenolik madde miktarı açısından paralellik göstererek, istatistiksel olarak aynı grupta bulunmaktadır. Buna ilaveten, 100 W + 80 °C’de hibrit kurutma ile 80 °C + 200 mmHg’de vakumlu kurutma yöntemleri birbirine oldukça yakın sonuçlar vermiştir. Farklı kurutma koşullarının kurutulmuş gilaburu örneklerinde toplam fenolik madde miktarı bakımından farklılıklar göstermiş olup, bu farkın istatistiksel olarak ($P < 0.01$) önemli olduğu tespit edilmiştir.

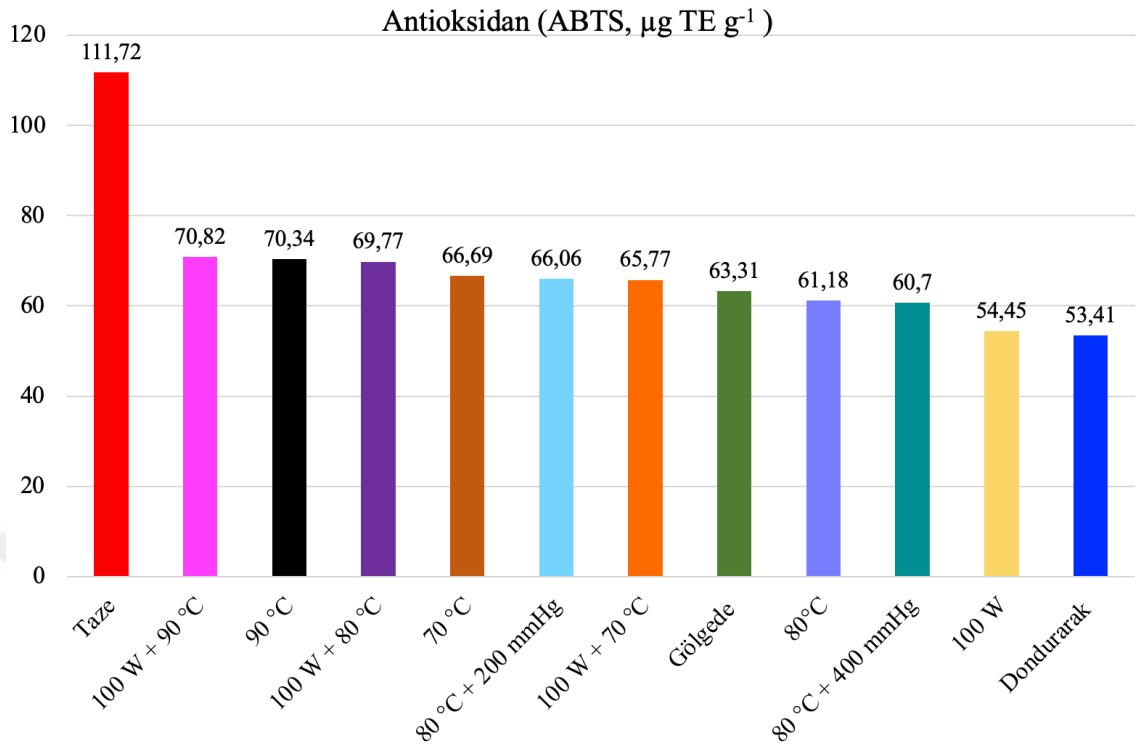
3.11. Antioksidan Kapasitesi

Antioksidanlar, kolayca okside olabilen materyallerin oksidasyonunu engelleyerek, vücudu kanser, kalp damar hastalıkları ve solunum yolu rahatsızlıkları gibi çeşitli hastalıklara karşı koruyan maddelerdir (Turgut ve Topuz, 2019). Bununla birlikte antioksidanlar, gıdalarda aroma, renk, tat ve kokunun üst düzeyde korunmasına katkı sağlamaktadır (İlhan vd., 2019). Bu çalışma kapsamında taze ve farklı tekniklerle kurutulmuş gilaburu meyvelerinin antioksidan kapasitesi DPPH (2,2-difenil-1-pikrihidrazil) radikali süpürücü aktivitesine göre Şekil 3.24’te, ABTS⁺ radikale göre antioksidan kapasitesi Şekil 3.25’te verilmiştir. Bulgularımıza göre, DPPH yönteminde antioksidan kapasite bakımından 80 °C ve 90 °C’de konvektif kurutma, 80 °C + 200 mmHg ile 80 °C + 400 mmHg’de vakumlu kurutma, gölgede ve 100 W + 80 °C’de hibrit kurutma birbirine benzer sonuçlar vererek, istatistiksel olarak bu yöntemler aynı grupta yer almıştır. Bununla birlikte, dondurarak, 70 °C’de konvektif ve 100 W + 70 °C’de hibrit

kurutma teknikleri antioksidan açısından benzer sonuçları verdiğiinden istatistiksel olarak aynı gruba dahil olmuştur.



Şekil 3.24. Taze ve kurutulmuş gilaburu meyvelerinin antioksidan kapasitesi (DPPH)



Şekil 3.25. Taze ve kurutulmuş gilaburu meyvelerinin antioksidan kapasitesi (ABTS⁺)

Bulgularımıza göre, DPPH (2,2-difenil-1-pikrihidrazil) radikali süpürücü aktivitesine göre antioksidan kapasitesinin en yüksek değeri %53,79 ile taze gilaburu örneklerinde ölçülmüştür. Bunu, %35,31 ile 100 W + 90 °C hibrit kurutma tekniği takip etmiştir. Buna karşın, DPPH radikale göre antioksidan kapasitesi bakımından en belirgin kaybın %26,71 ve %29,59 ile sırasıyla; 100 W’da mikrodalga kurutma ve dondurarak kurutma tekniğinde meydana geldiği tespit edilmiştir. DPPH yöntemine göre, mikrodalga kurutma tekniği kullanılarak kurutulmuş gilaburu örneklerinde ölçülen antioksidan kapasite değerinin taze ürüne kıyasla 2,01 kat azaldığı saptanmıştır. Antioksidan kapasite değerlerini etkileyen Maillard ürünlerinin üretimi ve birikimi, yüksek sıcaklık seviyelerinde antioksidan özelliklerini iyileştirebilmektedir (Gunaydin ve Alibas, 2023). Çalışmamızda konvektif ve hibrit kurutma sıcaklığının 70 °C’den 90 °C’ye yükseltilmesi antioksidan kapasitesini artırmıştır. Çarpıcı şekilde, vakumlu kurutma tekniğinde uygulanan basınç etkisinin artması antioksidan kapasitesinin azalmasına yol açmıştır.

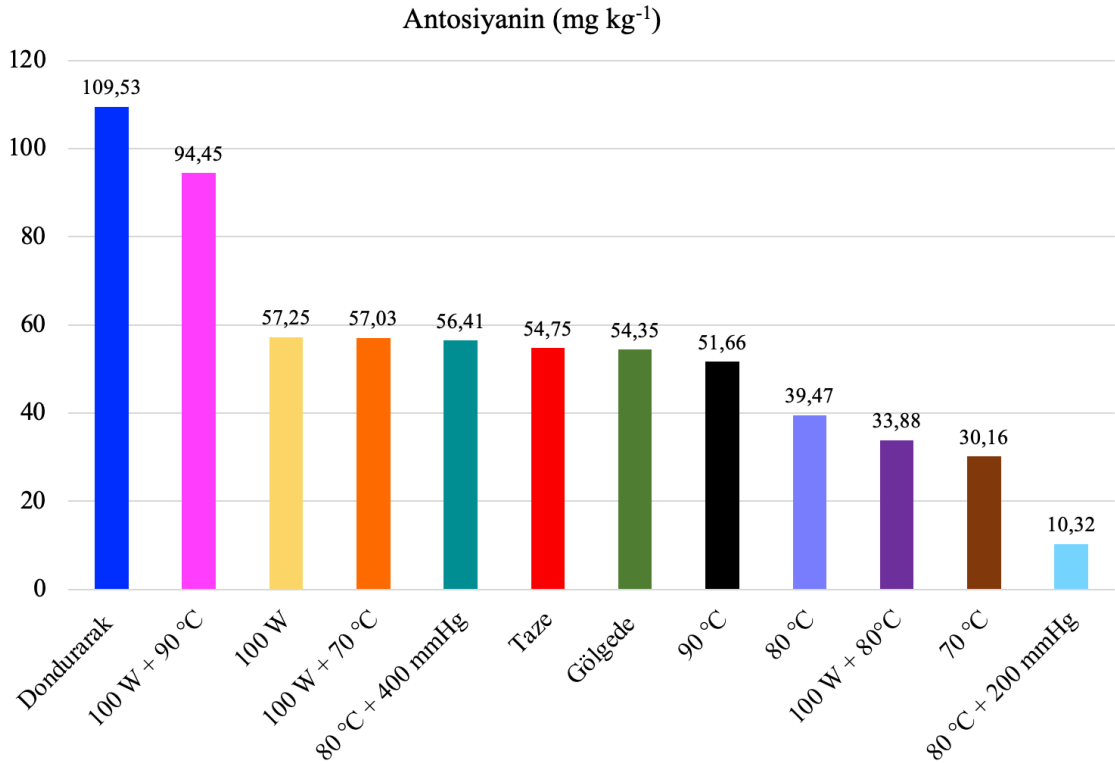
ABTS⁺ radikale göre en yüksek antioksidan aktivitesi değeri 111,72 $\mu\text{g trolox g}^{-1}$ olarak taze gilaburu örneklerinde ölçülmüştür. Buna karşın, en düşük antioksidan kapasitesi 53,41 $\mu\text{g trolox g}^{-1}$ ile dondurarak kurutulmuş ürünlerde elde edilmiştir. Bunu 54,45 μg

trolox g^{-1} ile mikrodalga kurutma tekniği takip etmiştir. Tüm kurutma yöntemleri antioksidan kapasitesinin taze ürüne göre bir miktar azalmasına yol açmıştır. Vakumlu kurutma tekniğinde basınç uygulamasının yükseltilmesi antioksidan kapasitesini azaltmıştır. Ayrıca, hibrit kurutma tekniğinde kurutucu sıcaklığının yükseltilmesi antioksidan kapasitesini artırıcı bir etki göstermiştir. ABTS⁺ radikaline göre antioksidan kapasitesi bakımından 100 W + 80 °C, 100 W + 90 °C ve 90 °C’de konvektif kurutma birbirine oldukça yakın sonuçlar vererek, istatistiksel olarak aynı gruba dahil olmuştur. Benzer şekilde, 70 °C ve 80 °C’de konvektif, gölgede, 100 W + 80 °C’de hibrit ve vakumlu kurutmalar istatistiksel olarak aynı grupta yer almaktadır. Buna ilaveten, mikrodalga ile dondurarak kurutma yöntemleri ile kurutulmuş gilaburu örneklerinde antioksidan kapasitesi değerleri birbirine paralellik göstermiştir. Bu nedenle, mikrodalga ile dondurarak kurutma grubu aynı istatistiksel gruba dahil olmuştur.

Hem DPPH yöntemine göre hem de ABTS⁺ radikali yöntemine göre en yüksek antioksidan değerleri taze üründe ölçülürken, en belirgin kayıplar 100 W’da mikrodalga ve dondurarak kurutma tekniklerinde meydana gelmiştir. Tüm kurutma yöntemleri antioksidan kapasitenin bir miktar düşmesine sebep olmuştur. Antioksidan aktivite ile toplam fenolik madde arasında pozitif yönlü doğrusal bir ilişki bulunmaktadır (Uğur ve Sarı 2022; Erkorkmaz vd., 2023). Her iki yöntem için de, farklı kurutma koşullarının kurutulmuş gilaburu örneklerinde antioksidan kapasitesi açısından farklılıklar göstermiş olup, bu farkın istatistiksel olarak ($P < 0.01$) nemli olduğu tespit edilmiştir.

3.12. Antosiyanin Konsantrasyonu

Antosiyanin, polifenollerden flavanoid grubuna ait suda kolayca çözünebilir renk pigmentleri olarak tanımlanmaktadır (Afacan ve Snmezdağ, 2020). Sağlık açısından pek çok faydası bulunan antosiyaninler, kanser hücrelerinin oluşumunu engellemekte, kalp damar hastalıklarına karşı korumakta, tümör oluşumunu engellemekte, enfeksiyon hastalıklarının iyileşmesine katkı sağlamaktadır (Atıncı ve Kalkan, 2018; Sağlam vd., 2021). Bu alışma kapsamında taze ve farklı kurutma teknikleri kullanılarak kurutulmuş gilaburu meyvelerinin antosiyanin konsantrasyonu şekil 3.26’da verilmiştir.



Şekil 3.26. Taze ve kurutulmuş gilaburu meyvelerinin antosiyanin konsantrasyonu

Bulgularımıza göre, gilaburu meyvelerindeki en yüksek antosiyanin içeriğinin $109,53 \text{ mg kg}^{-1}$ ile dondurarak kurutma tekniğinde olduğu tespit edilmiştir. Dondurarak kurutma yöntemi düşük sıcaklık ve basınç altında gerçekleştirildiği için örneklerde termal ve oksidatif bozunmaya neden olmamış ve en yüksek antosiyanin içeriği bu yöntemde ölçülmüştür (Tekin Cakmak vd., 2021). Bu yöntemde belirlenen antosiyanin konsantrasyonunun taze ürüne kıyasla 2,0 kat daha yüksek olduğu saptanmıştır. Dondurarak kurutma tekniğinden sonra antosiyanin içeriğinin en yüksek değeri $94,45 \text{ mg kg}^{-1}$ ile $100 \text{ W} + 90 \text{ °C}$ hibrit kurutma tekniğinde elde edilmiştir. Kurutma işlemleri, sıcaklık etkisi ile antosiyanin içeriğini önemli ölçüde azaltmıştır (Yu ve Lv, 2019). Bu doğrultuda, antosiyanin içeriğinin en düşük değeri $80 \text{ °C} + 200 \text{ mmHg}$ 'de vakumlu kurutma tekniğinde $10,61 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Bunu $30,16 \text{ mg kg}^{-1}$ ile 70 °C hava sıcaklığında konvektif kurutma yöntemi takip etmiştir. Tüm kurutma sistemleri dikkate alındığında antosiyanin içeriği bakımından en düşük değerler konvektif kurutma tekniğinde ölçülmüştür. Konvektif kurutma tekniği ile kurutulmuş gilaburu meyvelerinin antosiyanin içeriği kurutucu hava sıcaklığının yükseltilmesiyle artış göstermiştir.

Vakumlu kurutma tekniğinde uygulanan basınç değeri 200 mmHg'dan 400 mmHg'a çıkarılması antosiyanin konsantrasyonunun 5,46 kat artmasını sağlamıştır. Konvektif kurutma yöntemine göre, vakumlu kurutma tekniğinde antosiyanin miktarı önemli ölçüde artmıştır. Bu durumun vakum etkisi ile ortamdaki oksijenin uzaklaştırılması ve ürünlerin havadaki oksijene maruz kalmaması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Gölgede kurutma yönteminde ve 80 °C + 400 mmHg vakumlu kurutma tekniğinde ölçülen antosiyanin içeriğinin taze ürünle neredeyse aynı olduğu görülmüştür. Konvektif kurutma yöntemi ile kurutulmuş gilaburu örneklerinin antosiyanin içeriği taze ürüne kıyasla önemli ölçüde azalmıştır. Çalışmada, kurutulmuş gilaburu meyvelerinde antosiyanin içeriği bakımından en başarılı tekniğin dondurarak kurutma yöntemi, başarısı en düşük yöntemin ise konvektif kurutma olduğu sonucuna varılmıştır. Vakumlu kurutma tekniğinde düşük basınç seviyeleri antosiyanin bakımından önerilmemektedir. Hibrit, mikrodalga ve gölgede kurutma yöntemleri dondurarak kurutma tekniğinden sonra, antosiyanin içeriği açısından önerilebilir. Antosiyanin konsantrasyonu açısından tazeye en yakın sonuçları mikrodalga, gölgede, 80 °C + 400 mmHg vakumlu ve 100 W + 70 °C'de hibrit kurutma elde edilmiş olup, bu teknikler istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. Banzer şekilde, 100 W + 80 °C'de hibrit kurutma ile 70 °C'de konvektif kurutma istatistiksel olarak aynı gruba dahil olmuştur. Farklı kurutma koşullarının kurutulmuş gilaburu örneklerinde antosiyanin içeriği açısından farklılıklar göstermiş olup, bu farkın istatistiksel olarak ($P < 0.01$) önemli olduğu tespit edilmiştir.

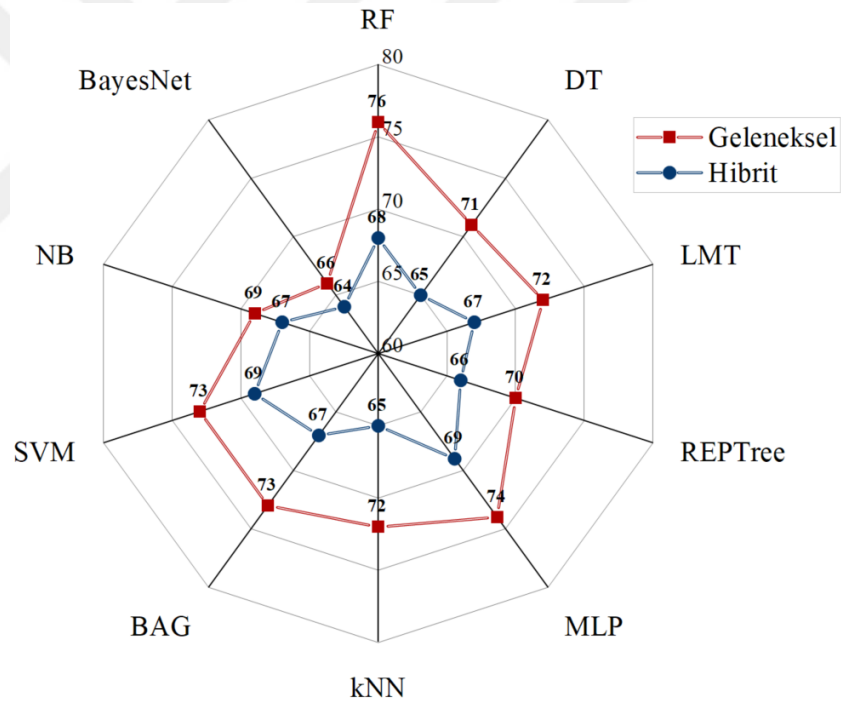
3.13. Görüntü İşleme ve Makine Öğrenmesi

Konvektif, mikrodalga, hibrit, vakumlu, dondurarak ve gölgede kurutma teknikleri ile kurutulmuş gilaburu örnekleri, farklılıkları belirlemek amacıyla tüm renk kanalları kullanılarak 11 sınıfta ayırt edilmiştir. Çalışmada, farklı yöntemlerle kurutulan gilaburu meyveleri R, G, B, L, a, b, H, S ve V renk kanallarında görüntü işleme analizi ve makine öğrenmesi algoritmaları yardımıyla sınıflandırılmıştır.

3.13.1. Farklı Tekniklerle Kurutulmuş Gilaburu Meyvelerinin Tüm Renk Kanallarına Göre Sınıflandırılması

Geleneksel ve hibrit kurutma teknikleri ile kurutulmuş gilaburu meyveleri, farklılıkları ortaya koymak amacıyla tüm renk kanallarında 11 grupta ayırt edilmiştir. Çalışmada

geleneksel (konvektif, mikrodalga, dondurarak, gölgede) ve hibrit (100 W + 70 °C, 100 W + 80 °C, 100 W + 90 °C, 80 °C + 200 mmHg, 80 °C + 400 mmHg) kurutma koşullarında kurutulmuş gilaburu meyveleri R, G, B, L, a, b, H, S ve V renk kanallarına göre bir takım görüntü işleme ve makine öğrenmesi algoritmaları ile sınıflandırılmıştır. Çalışmada, Rastgele Orman (RF), Karar Ağacı (DT) Lojistik Model Ağacı (LMT), REP Tree, Çok Katmanlı Algılayıcı Yapay Sinir Ağı (MLP), k-En Yakın Komşu (kNN), Lineer Diskriminant Analizi (LDA), Torbalama (Bagging, BAG), Destek Vektör Makinesi (SVM) ve Naïve Bayes (NB) algoritmaları kullanılmıştır. Farklı yöntemlerle kurutulmuş gilaburu meyvelerinin tüm renk kanalları için makine öğrenimi sınıflandırma doğruluğu sonuçları (%) Şekil 3.27’de verilmiştir.

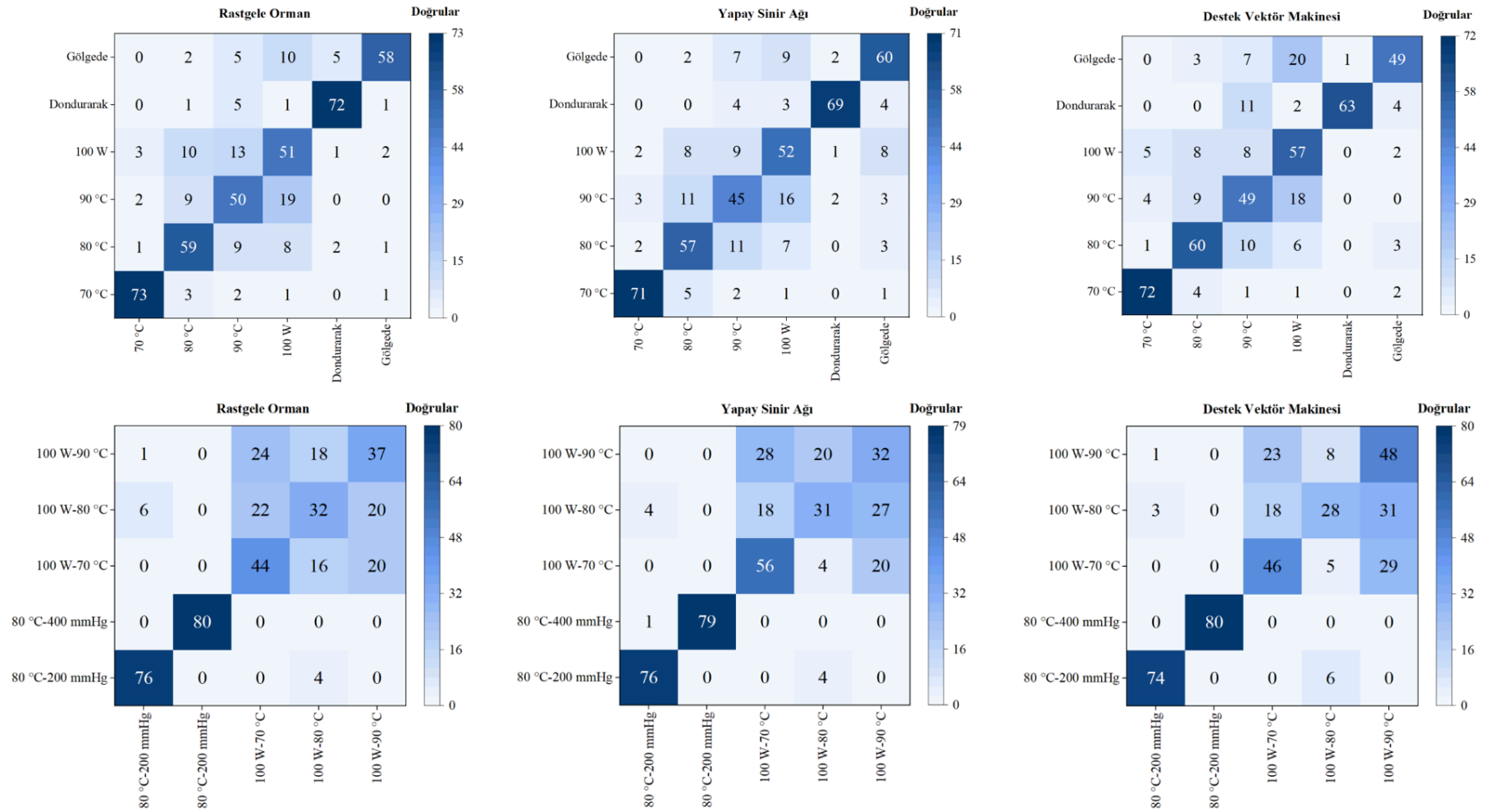


Şekil 3.27. Tüm renk kanalları için makine öğrenimi sınıflandırma doğruluğu sonuçları (%)

Bulgularımıza göre, geleneksel kurutma tekniklerinde tüm renk kanalları için en yüksek doğrulukta sınıflandırma sağlayan algoritmalar sırasıyla; RF (%75,63) ve MLP (%73,75) algoritmaları iken, bunu SVM (%72,92), BAG (%72,71) ve LMT (%71,46) modelleri takip etmiştir. Buna karşın, geleneksel kurutma yöntemlerinde en düşük sınıflandırma doğruluğu veren algoritmalar sırasıyla; BayesNet (%65,83), NB (%68,54), REP Tree

(%70,00) algoritmaları olmuştur. Elde edilen sonuçlar, ağaç modellerinden RF ve LMT'nin başarısını ortaya koymuştur. Ayrıca, DT (%70,63) ve REP Tree (%70,00) algoritmalarının sınıflandırma doğrulukları makul düzeydeydi. Bununla birlikte, k-NN (%71,46) algoritmasının sınıflandırma doğruluğunun diğer algoritmalarla kıyasla orta düzeyde olduğu tespit edilmiştir.

Hibrit kurutma tekniklerinde tüm renk kanalları için en yüksek doğrulukta sınıflandırma sağlayan algoritmalar sırasıyla; SVM (%69,00), MLP (%68,50) ve RF (%68,25) algoritmaları olmuş ve bunu NB (%67,00) ve LMT (%67,00) algoritmaları takip etmiştir. Hibrit kurutma En düşük sınıflandırma doğruluğu veren algoritmalar ise sırasıyla; BayesNet (%63,75), DT (%64,50) ve k-NN (%65,25) algoritmaları olmuştur. Sonuçlar, hibrit kurutma koşullarında SVM, MLP ve RF algoritmalarının başarısını ortaya koysa da, hibrit kurutmada ürünlerin renk özellikleri birbirine yakın olduğundan sınıflandırma doğruluklarının orta düzeyde olduğu saptanmıştır. Geleneksel (üstte) ve hibrit (altta) yöntemlerin sınıflandırılmasında önerilen modellere ait karışıklık matrisi Şekil 3.28'de verilmiştir.



Şekil 3.28. Geleneksel (üstte) ve hibrit (altta) yöntemlerin sınıflandırılmasında önerilen modellere ait karışıklık matrisi

Geleneksel kurutma tekniklerinde Rastgele Orman (RF) algoritmasına göre oluşturulmuş karışıklık matrisinde en fazla tutarsızlık 100 W'da mikrodalga kurutmada gözlenmiştir. Bulgularımıza göre, 100 W mikrodalga kurutmada olması beklenen 13 olgu 90 °C'de, 10 olgu 80 °C'de, 3 olgu 70 °C'de, 1 olgu dondurarak kurutmada ve 2 olgu ise gölgede kurutma sınıflarında yer almıştır. Bu durum, 100 W'da mikrodalga koşulunda kurutulmuş bazı gilaburu meyvelerinin diğer kurutma koşullarında kurutulmuş örneklerle benzerlik gösterdiğini ifade etmektedir. Benzer şekilde, RF algoritması 90 °C'de yer alması gereken 19 olguyu 100 W sınıfına, 9 olguyu 80 °C sınıfına ve 2 olguyu 70 °C sınıfına dahil etmiştir. Bununla birlikte, 80 °C'de konvektif kurutma kendi sınıfında 59 olguyu doğru sınıflandırırken, kalan olgular farklı dağılımlar göstermiştir. Buna ilaveten, 70 °C grubu kendi sınıfında 73 olguyu doğru sınıflandırırken, 3 olguyu 80 °C sınıfına, 2 olguyu 90 °C sınıfına, 1'er olguyu ise 100 W ve gölgede sınıfına dahil etmiştir. Dondurarak kurutmada 72 olgu kendi sınıfında doğru sınıflandırırken, 1'er olgu 80 °C, 100 W ve gölgede kurutma sınıflarında yer almıştır. Ayrıca, gölgede kurutma grubu 58 olgu kendi sınıfında yer alırken, 10 olgu 100 W, 2 olgu 80 °C, ve 5'er olgu ise 90 °C ve dondurarak sınıfında dağılım göstermiştir.

Hibrit kurutma tekniklerinden 80 °C + 200 mmHg ve 80 °C + 400 mmHg uygulamalarında kurutulmuş gilaburu örnekleri için Rastgele Orman (RF) algoritmasında karışıklık matrisi diğer kurutma koşullarına göre çok daha iyi dağılım göstermiştir. Vakumlu kurutmanın 80°C+400 mmHg uygulaması, kendi sınıfında 80 olguyu %100 doğrulukta sınıflandırmıştır. Bununla birlikte, 80 °C + 200 mmHg grubu kendi sınıfında 76 olguyu doğru sınıflandırırken, 4 olguyu 100 W+80 °C grubuna dahil etmiştir. Hibrit kurutma grubunun karışıklık matrisinde en fazla tutarsızlık 100 W + 80 °C'de görülmüştür. Bu grup, 32 olguyu kendi sınıfında doğru sınıflandırmış, ancak 22 olguyu 100 W + 70 °C grubuna, 20 olguyu 100 W + 90 °C grubuna, 6 olguyu ise 80 °C + 200 mmHg grubuna aktarmıştır. Benzer şekilde, 100 W + 70 °C kendi sınıfında 44 olguyu doğru sınıflandırmıştır. Buna karşın, 16 olgu 100 W + 80 °C sınıfında, 20 olgu ise 100 W + 90 °C sınıfında dağılım göstermiştir. Hibrit grubunda 100 W + 90 °C'de 37 olgu kendi içinde doğru sınıflandırılırken, 24 olgu 100 W + 70 °C, 18 olgu 100 W + 80 °C ve 1 olgu ise 80 °C + 200 mmHg sınıfında yer almıştır. Mikrodalga ve konvektif kombinasyonunun uygulandığı hibrit kurutma koşullarında gilaburu örneklerinin renk özellikleri benzerlik

göstermektedir. Dolayısıyla bu durum, karışıklık matrisinde dağılımın tutarsızlık düzeyini artırmıştır.

Geleneksel yöntemlerin sınıflandırılmasında Yapay Sinir Ağı modeline ait karışıklık matrisinde en fazla dağılım 90 °C sınıfında gözlenmiştir. Bu grup, 45 olguyu kendi sınıfında doğru ayırt etmiş ancak, 16 olguyu 100 W grubuna, 11 olguyu 80 °C grubuna, 3'er olguyu 70 °C ve gölgede sınıfına dahil etmiştir. Bununla birlikte, 100 W sınıfında 52 olgu kendi içinde doğru sınıflandırılmış olup, 9 olgu 90 °C, 8'er olgu 80 °C ve gölgede grubunda, 2 olgu 70 °C grubunda ve 1 olgu ise dondurarak sınıfında dağılım göstermiştir. En tutarlı dağılım 70 °C sınıfında gözlenmiştir. Bu grupta, 71 olgu kendi sınıfında, 5 olgu 80 °C'de, 2 olgu 90 °C'de ve 1'er olgu 100 W ve gölgede sınıflarında dağılım göstermiştir. Bununla birlikte, dondurarak kurutulmuş örnekler kendi sınıfında 69 olguyu, gölgede kurutulmuş örnekler ise kendi sınıfında 60 olguyu, 80 °C'de konvektif kurutulmuş örnekler ise kendi içinde 57 olguyu doğru bir şekilde sınıflandırmıştır. Diğer olgular farklı kurutma koşullarında düzensiz dağılım göstermiştir. Buradan, kurutulmuş gilaburu meyvelerinin renk özelliklerinin benzerlik gösterdiği anlaşılmaktadır. Hibrit yöntemlerin sınıflandırılmasında Yapay Sinir Ağı modeline ilişkin karışıklık matrisinde en tutarlı dağılım vakumlu kurutma gruplarında (80 °C + 200 mmHg ve 80 °C + 400 mmHg) gözlenmiştir. Bu kapsamda, 80 °C + 400 mmHg grubunda 79 olgu kendi sınıfında doğru sınıflandırılmış, 1 olgu ise 80 °C + 200 mmHg grubuna dahil ettiği tespit edilmiştir. Benzer şekilde, 80 °C + 200 mmHg grubunda 76 olgu doğru bir şekilde sınıflandırılırken 4 olgu 100 W + 80 °C sınıfında dağılım göstermiştir. Buna karşın, en fazla dağılım meydana geldiği 100 W + 80 °C sınıfında 31 olgu kendi sınıfında, 18 olgu 100 W-70 °C sınıfında, 27 olgu 100 W + 90 °C sınıfında ve 4 olgu 80 °C + 200 mmHg sınıfında yer almıştır. Bununla birlikte, 100 W + 70 °C sınıfında 56 olgu kendi grubunda, 4 olgu 100 W + 80 °C sınıfında yer almış ve 27 olgu ise 100 W + 90 °C sınıfına dahil olmuştur. Ayrıca, 100 W + 90 °C sınıfında 32 olgu kendi sınıfında yer alırken, 28 olgu 100 W + 70 °C sınıfında, 20 olgu 100 W + 80 °C sınıfında dağılım göstermiştir. Sonuçlar, Yapay Sinir Ağı modeline ait karışıklık matrisindeki dağılımlar, mikrodalga ve konvektif kombinasyonlarından oluşan hibrit kurutma koşullarında (100 W + 70 °C, 100 W + 80 °C, 100 W + 90 °C) gilaburu renk özelliklerinin birbirine oldukça yakın olduğunu göstermektedir.

Geleneksel yöntemlerin sınıflandırılmasında Destek Vektör Makinesi modeline ait karışıklık matrisinde en tutarlı dağılımın görüldüğü 70 °C sınıfında 72 olgu kendi grubunda doğru ayırt edilmiş, ancak 4 olgu 80 °C grubuna, 2 olgu gölgede grubuna, 1'er olgu ise 90 °C ve 100 W grubuna dahil edilmiştir. Bunu takiben, 80 °C'de 60 olgu kendi grubunda doğru sınıflandırılırken, 10 olgu 90 °C'de, 6 olgu 100 W'de, 3 olgu gölgede ve 1 olgu ise 70 °C grubunda yer almıştır. Buna ilaveten, dondurarak kurutulmuş gilaburu örneklerinde 63 olgu kendi sınıfında, 11 olgu 90 °C'de, 4 olgu gölgede, 2 olgu ise 100 W'de dağılım göstermiştir. Gölgede ve 90 °C sınıflarının her ikisi de 49 olguyu, 100 W sınıfı ise 57 olguyu kendi sınıflarında doğru ayırt etmiştir. Hibrit yöntemlerin sınıflandırılmasında Destek Vektör Makinesi modeline ait karışıklık matrisinde 80 °C + 400 mmHg sınıfı 80 olguyu kendi içinde %100 doğrulukta sınıflandırmıştır. Bunu takiben, 80 °C + 200 mmHg sınıfı 74 olguyu kendi içinde doğru sınıflandırmış, ancak 6 olguyu 100 W + 80 °C grubuna dahil etmiştir. Ayrıca, 100 W + 70 °C sınıfı kendi içinde 46 olguyu, doğru sınıflandırırken, 29 olguyu 100 W + 90 °C sınıfına, 5 olguyu ise 100 W + 80 °C sınıfına dahil etmiştir. Bununla birlikte, 100 W + 90 °C sınıfı 48 olguyu kendi içinde doğru sınıflandırmış, ancak 23 olgu 100 W + 70 °C sınıfında, 8 olgu 100 W + 80 °C sınıfında, 1 olgu ise 80 °C + 200 mmHg sınıfında dağılım göstermiştir. Buna ilaveten, 100 W + 80 °C sınıfı en tutarsız dağılımı göstermiş olup, kendi sınıfında 28 olguyu doğru sınıflandırırken, 31 olgu 100 W + 90 °C grubunda, 18 olgu 100 W + 70 °C sınıfında 3 olgu ise 80 °C + 200 mmHg sınıfında yer almıştır.

3.13.2. Geleneksel ve Hibrit Yöntemlerle Kurutulmuş Gilaburuların Renk Kanallarına Göre Performans Metrikleri

Geleneksel yöntemlerle kurutulmuş gilaburu örneklerinin farklı modeller için R , G , B , L , a , b , H , S ve V renk kanallarına göre performans metrikleri Tablo 3.12'de verilmiştir. Sonuçlar, gilaburu örneklerinin tüm renk kanallarına göre sınıflandırma doğruluk değerlerini desteklediğini göstermektedir. RF modelinde TPR ve FPR değerleri sırasıyla 0,756 ve 0,049, P, F, MCC, ROC Alanı ve PRC Alanı değerleri ise sırasıyla 0,768, 0,760, 0,713, 0,935 ve 0,800 olarak belirlenmiştir. RF'den sonra en yüksek ROC Alanı ve PRC Alanı değerleri MLP algoritmasında belirtilen sırayla; 0,933 ve 0,779 olarak elde edilmiştir. Bunun yanı sıra, en düşük TPR (0,658), P (0,673), F (0,661), MCC (0,596) ve en yüksek FPR (0,068) değerlerine BayesNet'te ulaşılmıştır. Ayrıca ROC ve PRC

Alanlarının en düşük değerleri sırasıyla; 0,853 ve 0,628 olarak DT algoritmasında elde edilmiştir. En düşük ROC Alanı ve PRC Alanı değerleri ise sırasıyla 0,922 ve 0,787 ile DT modelinde belirlenmiştir. Tüm algoritmalar için FPR değerlerinin düşük olması modellerin başarılı olduğunu ifade etmektedir.

Tablo 3.12. Farklı modeller için geleneksel yöntemlerle kurutulmuş gilaburuların R , G , B , L , a , b , H , S ve V renk kanallarına göre performans metrikleri

Model	TPR	FPR	P	F	MCC	ROC Alanı	PRC Alanı
RF	0,756	0,049	0,768	0,760	0,713	0,935	0,800
DT	0,706	0,059	0,711	0,707	0,650	0,853	0,628
LMT	0,715	0,057	0,717	0,715	0,659	0,920	0,753
REP	0,700	0,060	0,710	0,701	0,644	0,878	0,659
Tree							
MLP	0,737	0,053	0,743	0,740	0,687	0,933	0,779
kNN	0,715	0,057	0,735	0,719	0,666	0,898	0,712
BAG	0,727	0,055	0,733	0,729	0,675	0,931	0,778
SVM	0,729	0,054	0,752	0,734	0,684	0,903	0,660
NB	0,685	0,063	0,704	0,688	0,630	0,911	0,732
BayesNet	0,658	0,068	0,673	0,661	0,596	0,904	0,719

TPR, Doğru Pozitif Oranı; FPR, Yanlış Pozitif Oranı; P, Kesinlik; F, F-Ölçütü; MCC, Matthews Korelasyon Katsayısı; ROC Area, Alıcı İşlem Karakteristiği Alanı; PRC Alanı, Kesinlik-Duyarlık Alanı

Hibrit yöntemlerle kurutulmuş gilaburu örneklerinin farklı modeller için R , G , B , L , a , b , H , S ve V renk kanallarına göre performans metrikleri Tablo 3.13'te verilmiştir. Bulgularımız, hibrit yöntemlerle kurutulmuş gilaburu örneklerinin tüm renk kanallarına göre sınıflandırma doğruluk değerlerini desteklediğini göstermektedir. SVM ve NB modellerinin her ikisi için de TPR, FPR ve MCC değerleri sırasıyla; 0,690, 0,078 ve 0,617 olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, P, F, ROC Alanı ve PRC Alanı SVM modeli için sırasıyla; 0,704, 0,688, 0,855 ve 0,629 olarak, NB modeli için ise yine aynı sırayla; 0,700, 0,694, 0,899 ve 0,703 olarak kaydedilmiştir.

Tablo 3.13. Farklı modeller için hibrit yöntemlerle kurutulmuş gilaburuların R , G , B , L , a , b , H , S ve V renk kanallarına göre performans metrikleri

Model	TPR	FPR	P	F	MCC	ROC Alanı	PRC Alanı
RF	0,673	0,082	0,668	0,670	0,589	0,903	0,723
DT	0,645	0,089	0,646	0,641	0,556	0,847	0,625
LMT	0,670	0,083	0,666	0,668	0,586	0,885	0,671
REP Tree	0,660	0,085	0,659	0,652	0,573	0,869	0,648
MLP	0,685	0,079	0,684	0,680	0,605	0,904	0,720
kNN	0,653	0,087	0,659	0,652	0,568	0,869	0,678
BAG	0,668	0,083	0,659	0,662	0,580	0,897	0,704
SVM	0,690	0,078	0,704	0,688	0,617	0,855	0,629
NB	0,690	0,078	0,700	0,694	0,617	0,899	0,703
BayesNet	0,638	0,091	0,656	0,641	0,555	0,882	0,673

TPR, Doğru Pozitif Oranı; FPR, Yanlış Pozitif Oranı; P, Kesinlik; F, F-Ölçütü; MCC, Matthews Korelasyon Katsayısı; ROC Area, Alıcı İşlem Karakteristiği Alanı; PRC Alanı, Kesinlik-Duyarlık Alanı

MLP algoritmasında TPR değeri 0,685 olarak elde edilmiş olup, yine ROC Alanının en yüksek değeri MLP’de belirlenmiştir. Tüm algoritmalar içerisinde en düşük TPR (0,638) ve MMC (0,555) değerlerinin BayesNet’te olduğu tespit edilmiştir. BayesNet modeli en yüksek FPR (0,091) değerini veren algoritma olmuştur. Bu durum, BayesNet’in diğer algoritmalara göre daha başarısız sınıflandırma doğruluğu verdiğini göstermektedir. En düşük ROC Alanı ve PRC Alanı değerleri DT algoritmasında sırayla 0,847 ve 0,625 olarak belirlenmiştir.

4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Tartışma

Bu tez çalışmasında, gilaburu meyveleri farklı kurutma teknikleri kullanılarak kurutulmuş ve kurutma yöntemlerinin meyvede renk, rehidrasyon, büzülme, pH, °Briks, biyoaktivite özellikleri, renk değişimi, makro-mikro besin elementlerine etkisi belirlenmiştir. Ayrıca, kurutucu performans değerleri olan toplam enerji tüketimi, özgül enerji tüketimi, özgül nem çekme oranı, termal etkinlik oranı ve enerji etkinliği oranı hesaplanmıştır. Bununla birlikte, görüntü işleme ve makine öğrenmesi yardımıyla kurutulmuş örnekler renk kanallarına göre sınıflandırılmıştır. Elde edilen bulguların literatürde bazı çalışmalarla benzerlik gösterdiği saptanmıştır.

Dönmez ve Kadakal (2024) taze gilaburu meyvelerinin ilk nem içeriğini %83,95 olarak belirlemiş olup, bu değer bulgularımıza (%83,22) paralellik göstermektedir. Yine aynı çalışmada meyvelerinin 70 °C’de konvektif kurutma süresinin bulgularımıza kıyasla %34 oranında daha uzun olduğunu tespit edilmiştir. Dal ve Karacabey (2021) gilaburu örneklerini 60 °C, 70 °C ve 80 °C hava sıcaklıklarında konvensiyonel kurutma tekniği ile kurutmuş ve çalışmamızda olduğu gibi kurutma hava sıcaklığının artmasıyla kurutma süresinin kısaldığını raporlamıştır. Yine aynı çalışmada 70 °C ve 80 °C’deki kurutma süresinin bulgularımıza kıyasla sırasıyla; 2,31 ve 2,14 kat daha az olduğu saptanmıştır. Bölek vd. (2022) gilaburu meyvelerinin 60 °C, 70 °C ve 80 °C hava sıcaklıklarında akışkan yataklı kurutucuda kurutulmasında sıcaklık düzeyinin artırılmasıyla kurutma süresinin kısaldığını tespit etmiştir. Çalışmamızda 70 °C ve 80 °C hava sıcaklıklarında konvektif kurutmada ilk 50 dakikada %20 ve %30 olarak belirlediğimiz ayrılabilir nem

oranlarını, aynı sıcaklık uygulamaları için Taşkın vd. (2019) sırasıyla; %25 ve %35 olarak raporlamışlardır. Benzer şekilde, Dönmez ve Kadakal (2024) konvektif kurutma tekniğini kullanarak 70 °C hava sıcaklığında kurutulan gilaburu meyvelerinin ilk 50 dakikada ayrılabilir nemin yaklaşık %20'sinin üründen buharlaştığını tespit etmiştir. Bu değer bulgularımıza (%20) örtüşmektedir. Taşkın vd. (2019) bulgularımıza paralel şekilde gilaburu meyvelerinin 120 W çıkış gücünde mikrodalga kurutma yöntemi kullanılarak kurutulmasında ilk 50 dakikadaki ayrılabilir nemin yaklaşık %42'sinin ürünlerin bünyesinden uzaklaştığını tespit etmiştir. Günaydın (2020) kuşburnu meyvesinin 100 W mikrodalga gücünde mikrodalga kurutma tekniğini kullanarak kurutmuş ve ilk 50 dakikadaki ayrılabilir nemin yaklaşık %40'ının üründen uzaklaştığını bulgulamıştır. Polatoğlu ve Beşe (2017) kızılcık meyvesinin 70 °C hava sıcaklığı kullanılarak konvektif kurutulmasında ilk 50 dakikadaki ayrılabilir nemin yaklaşık %20'sinin buharlaştığını kaydetmiştir.

Bulgularımıza benzer şekilde, Çetin (2022b) domates atıklarının 80 °C hava sıcaklığında konvektif kurutma tekniği ile kurutulmasında en başarılı ince tabaka kurutma modelinin Jena&Das modeli olduğunu kaydetmiştir. Horuz vd. (2017) vişnenin 50 °C, 60 °C ve 70 °C hava sıcaklıkları ile 120, 150, 180 W mikrodalga güçlerinin kombinasyonu ile kurutulmasında en başarılı ince tabaka kurutma modelinin Logistic modeli olduğunu raporlamıştır. Çetin vd. (2023b) karadutun 100 W, 200 W ve 300 W mikrodalga güçlerini kullanılarak mikrodalga kurutma yöntemi ile kurutulmasında en iyi modelin Logistic modeli olduğunu bildirmiştir. Horuz vd. (2017) kayısı meyvesini 120 W, 150 W ve 180 W mikrodalga çıkış güçlerinde ve 50, 60 ve 70 °C hava sıcaklıklarında konvektif kurutma yöntemi ile kurutmuştur. Çalışmada kayısının belirtilen mikrodalga güç seviyeleri ve hava sıcaklıklarında kurutulmasında en başarılı modelin Geliştirilmiş Logistic model olduğu raporlanmıştır. Çalışmamızda da hibrit ve mikrodalga kurutma yöntemleri için en başarılı modelin Logistic model olduğu tespit edilmiştir. Alibaş vd. (2021) deveci armudu dilimlerini gölgede ve 60 °C, 80 °C ve 100 °C'de konvektif kurutma tekniği ile kurutmuş ve gölgede kurutma yönteminde en iyi kurutma modelinin 0,9998 regresyon katsayısı (R^2) ile Alibaş modeli olduğunu bildirmiştir. Elde edilen veriler bulgularımıza benzerlik göstermektedir.

Taşkın vd. (2019) gilaburu meyvelerinin 120 W mikrodalga kurutma tekniği ile kurutmuş ve L^* (parlaklık) değerini 22,48 olarak belirlemiştir. Bu değer bulgularımızla benzerlik

göstermektedir. Dal ve Karacabey (2021) gilaburu meyvelerinin 80 °C’de konvektif kurutulmasında toplam renk değişimi değerinin bulgularımıza oranla 2,86 kat daha düşük olduğunu raporlamıştır. Taşkın vd. (2018) taze gilaburu örneklerinin a* parametresini (kırmızılık/yeşillik) 42,99 olarak belirlemiş olup, bu değer bulgularımızla (43,42) örtüşmektedir. Dal (2022) gilaburu meyvelerinin 70 °C ve 80 °C’de konvektif kurutma tekniği ile kurutmuş ve bu sıcaklık değerlerinde kroma değerinin bulgularımıza paralel olduğunu raporlamıştır. Aksoy vd. (2019) uzun kuruma sürelerinin örneklerin kahverengileşmesine neden olduğunu vurgulamıştır. İzli vd. (2019) lime dilimlerini 90 ve 160 W mikrodalga ve 90 W + 55 °C, 90 W + 65 °C, 90 W + 75 °C, 160 W + 55 °C, 160 W + 65 °C ve 160 W + 75 °C’de hibrit kurutma yöntemlerini kullanarak kurutmuş ve renk parametreleri açısından en başarılı yöntemin 90 W + 55 °C hibrit kurutmada elde edildiğini ortaya koymuştur. Çalışmamızda olduğu gibi, Gu vd. (2022) uzun kurutma sürelerinin ürünlerin renk özellikleri üzerinde olumsuz bir etkisi olduğunu vurgulamıştır. Senadeera vd. (2020) Trabzon hurması dilimlerini 45 °C, 50 °C, 55 °C, 60 °C ve 65 °C hava sıcaklıklarında kurutmuş ve artan kuruma sürelerinin örneklerde kahverengileşmeyi artırdığını bildirmiştir. Çalışmamızda da uzun kuruma süresi ile ilişkili olarak en fazla kahverengileşme 70 °C’de konvektif kurutmada belirlenmiştir. Joudi-Sarighayeh vd. (2022) kabak dilimlerini konvektif (50 °C, 60 °C ve 70 °C), mikrodalga (180 W, 360 W ve 540 W) ve bu sıcaklıkların ve mikrodalga güçlerinin kombinasyonunu kullanarak hibrit kurutma yöntemleriyle kurutmuşlardır. Çalışmada, kabak dilimlerinin renk özellikleri açısından en başarılı sonuçların 60 °C + 360 W’de hibrit kurutmada elde edildiği kaydedilmiştir.

Motevali vd. (2011) nar tanelerinin 100 W’da mikrodalga ile kurutulmasında toplam enerji tüketimini 0,35 kWh olarak belirlemişlerdir. Horuz ve ark. (2017) vişnenin 50 °C ve 70 °C’de konveksiyonel, 120-180 W’da mikrodalga ve hibrit kurutma tekniği ile kurutulmasında toplam enerji tüketimi ve özgül enerji tüketiminin en fazla olduğu yöntemin, 50 °C’de konvektif kurutma olduğunu kaydetmiştir. Jafari vd. (2018), pirinç tanelerini mikrodalga (90 W, 270 W ve 450 W) ile kurutmuş ve artan mikrodalga seviyesinin özgül enerji tüketimini artırdığını kaydetmiştir. Abbaspour-Gilandeh vd. (2020), menengiç tohumlarını mikrodalga, konvektif, kızılötesi ve kızılötesi-mikrodalga yöntemleri ile kurutarak bulgularımıza benzer şekilde, en yüksek enerji verimliliğinin (η) mikrodalga kurutma yönteminde belirlendiğini raporlamışlardır. Çalışmamızda da

enerji etkinliğinin en yüksek değeri 100 W mikrodalga kurutmada (%7,31) elde edilmiştir. Singh vd. (2008), kestanenin 50 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C ve 90 °C’de kabinli kurutucuda konvensiyonel kurutulmasında, sıcaklık düzeyinin yükseltilmesiyle rehidrasyon oranının azaldığını tespit etmiştir. Başığit ve Karaaslan (2020) keme mantarının kabin kurutma, vakumlu kurutma, güneş enerjili kurutma ve dondurarak kurutma yöntemleri ile kurutulmasında en yüksek rehidrasyon kapasitesinin dondurarak kurutulan ürünlerden elde edildiğini bildirmiştir. Aksoy vd. (2019) kıyma örneklerini 25, 35 ve 45 °C hava sıcaklıkları ile 60 mbar basınç uygulamasında vakumlu kurutma tekniğini kullanarak kurutmuş ve sıcaklık seviyesinin artmasıyla rehidrasyon kapasitenin azaldığını bulgulamıştır. Çalışmamızda uygulanan basınç düzeyinin artması rehidrasyon kapasitesinin azalmasına yol açmıştır. Maskan (2001) kivi dilimlerinin mikrodalga ve konvektif kuruttuğu bir çalışmada sıcaklık artışının rehidrasyon kapasitesini azalttığını vurgulamıştır. Çalışmamızda da uygulanan sıcaklık düzeyinin artmasıyla literatüre paralel şekilde rehidrasyon oranının azaldığı ve en yüksek rehidrasyon oranının dondurarak kurutmada belirlendiği kaydedilmiştir. Metiner ve Ersus (2023) aronya meyvesini 65 °C + 517,14 mmHg sıcaklık ve basınç uygulamasında vakumlu, 65 °C hava sıcaklığında konvektif ve -25 °C’de dondurarak kurutma yöntemleri ile kurutmuş olup, en düşük büzülme oranının dondurarak kurutulan ürünlerde elde edildiğini belirtmiştir. Aksoy (2019) kıyma örneklerinin vakumlu, ultrases destekli vakumlu ve dondurarak kurutma teknikleri ile kurutulmasında en düşük büzülme oranının camsı geçiş sıcaklığı ile ilişkili olarak dondurarak kurutma yönteminde ölçüldüğünü bildirmiştir.

Akbulut vd. (2008) taze gilaburuda belirledikleri Zn içeriği bulgularımızla örtüşmektedir. Taşkın vd. (2019) taze gilaburu meyvelerindeki Fe ve Cu içeriğinin bulgularımıza oranla sırasıyla 3,42 ve 5,65 kat daha düşük olduğunu belirlemiş olup, yine aynı çalışmada Zn konsantrasyonunun bulgularımıza paralellik gösterdiğini tespit etmiştir. Zarifikhosroshahi (2015) taze gilaburu meyvelerinin Mg içeriğinin bulgularımıza oranla 3,30 kat daha yüksek olduğunu raporlamıştır. Literatürde kurutulmuş gilaburu meyvelerin makro ve mikro besin elementi içeriğinin araştırıldığı çalışmalara rastlanmamıştır. Çalışmamızda olduğu gibi Mafokoane (2019) da konvektif kurutma tekniği ile kuruttuğu börülce yapraklarında artan kuruma sürelerinin Zn, P ve S içeriğini azalttığını bildirmiştir. Garti vd. (2019) uzun kuruma süresinin ürünlerde Ca, Fe, K, Mg, P ve Zn konsantrasyonunu ciddi ölçüde azalttığını vurgulamıştır. Salve vd. (2020) köri

yapraklarının güneşte, gölgede ve 60°C’de konvektif kurutma yöntemi ile kurutmuş ve çalışmamıza benzer şekilde taze ürüne en yakın Fe konsantrasyonunun gölgede kurutma yönteminde elde edildiğini raporlamıştır. Çetin vd. (2023) meşe palamudunun 40, 60, 80, 100 ve 120 °C hava sıcaklıklarında konvektif kurutulmasında uygulanan sıcaklık seviyesinin artmasıyla Zn, S ve Fe içeriğinin azaldığını vurgulamıştır. Gunaydin ve Alibas (2023) kuşburnu meyvelerini gölgede, 50 °C’de konvektif ve 100, 300, 500, 700 ve 1000 W’da mikrodalga yöntemleriyle kurutmuşlardır. Çalışmada gölgede, 50 °C’de konvektif ve 100 W’da mikrodalga kurutma tekniklerinin uzun kurutma sürelerine sahip olduğu ve numunelerin oksijenle temasının artırarak oksidasyona yol açtığı, bununla ilişkili olarak da oksidasyonun kuşburnu örneklerinde mineral kaybına neden olduğu vurgulanmıştır. Alibas vd. (2021) fesleğen yapraklarını 100, 300, 500, 700 ve 900 W’ta mikrodalga ile kurutmuşlardır. En düşük mikrodalga gücü olan 100 W’ta ürünlerin uzun süre mikrodalga enerjisine maruz kalması sonucu kimyasal reaksiyonların meydana geldiği ve mineral madde miktarının azaldığını raporlanmıştır. Çalışmamızda da uzun kuruma süreleri gilaburu örneklerinin hava ile temas süresini artırarak enzimatik reaksiyonları beraberinde getirmiş ve ciddi ölçüde mineral kayıplarına yol açmıştır.

Dal ve Karacabey (2021) gilaburu meyvelerinin 70 °C ve 80 °C’de konvektif kurutulmasında, ölçülen toplam fenolik içeriğinin sırasıyla; 38,18 mg GAE g⁻¹ ve 40,95 mg GAE g⁻¹ olduğunu raporlamışlardır. Bu değerler bulgularımıza (34,57 ve 35,36 GAE g⁻¹) benzerlik göstermektedir. Ayrıca taze gilaburu meyvelerinin toplam fenolik madde içeriğinin 45,46 mg GAE g⁻¹ olduğunu vurgulamışlardır. Bu değer bulgularımıza (48,38 mg GAE g⁻¹) oldukça yakın olduğu görülmektedir. Dönmez ve Kadakal (2024) gilaburu meyvelerini 70 °C’de kurutmuş ve askorbik asit içeriğini 2,4 mg g⁻¹ olarak belirlemiştir. Bu değer, bulgularımızla (2,3 mg g⁻¹) örtüşmektedir. Kraujalytė vd. (2013) taze gilaburunun toplam fenolik madde miktarının bulgularımıza oranla 8,84 kat daha düşük olduğunu raporlamıştır. Yurteri vd. (2021) taze gilaburu meyvelerindeki toplam fenolik madde içeriğinin bulgularımıza oranla %78 oranında daha yüksek olduğunu bildirmiştir. Dönmez ve Kadakal (2024) taze gilaburu meyvelerinde toplam fenolik madde içeriğini 56,80 mg GAE g⁻¹ olarak belirlemiştir. Bu değer bulgularımıza yakın olduğu görülmektedir. Yine aynı çalışmada, 70 °C’de konvensiyonel kurutulan gilaburu meyvelerinin toplam fenolik içeriğinin bulgularımıza kıyasla 2,32 kat daha düşük olduğunu raporlamıştır. Abbaspour-Gilandeh vd. (2020) menengiç tohumlarını konvektif

(65 °C), mikrodalga (450 W), kızılötesi (450 W) ve hibrit (65 °C + 450 W) kurutma teknikleri ile kurutmuşlardır. Çalışmada toplam fenolik madde içeriğinin çalışmamıza benzer şekilde en kısa kurutma süresine sahip olan hibrit kurutma yönteminde olduğu bildirilmiştir. Demiray ve Tülek (2019) tarafından yürütülen bir çalışmada kırmızı biber dilimleri 45, 55 ve 65 °C sıcaklık, 21,5 mmHg ve 48,0 mmHg basınç uygulamalarında vakumlu kurutma tekniği ile kurutulmuş ve bizim çalışmamızda olduğu gibi artan basınç etkisinin askorbik asit içeriğinin azalmasına neden olduğu raporlanmıştır. Tepić Horecki vd. (2018) kızılıcık meyvelerini vakumlu, konvektif ve dondurarak kurutma teknikleri ile kurutmuşlardır. Çalışmada düşük sıcaklıklardaki uzun kuruma sürelerinin toplam fenolik madde miktarını azalttığı vurgulanmıştır. Samoticha vd. (2016) aronya meyvesinin konvektif kurutulmasında 50 °C'deki uzun kuruma süresi ile ilişkili olarak toplam fenolik madde içeriğinin 70 °C'ye göre önemli düzeyde azaldığını kaydetmiştir.

Arslan vd. (2018) taze gilaburu meyvelerinin antioksidan kapasitesini DPPH radikaline göre %52,50 olarak belirlemiştir. Bu değer bulgularımızla (%53,79) örtüşmektedir. Kraujalytė vd. (2013) taze gilaburu meyvelerinin ABTS⁺ radikaline göre antioksidan kapasitesinin 109,8 µg trolox g⁻¹ olduğunu raporlamıştır. Bu değer bulgularımıza (111,72 µg trolox g⁻¹) oldukça yakın olduğu görülmektedir. Taşkın vd. (2018) çalışmamıza benzer şekilde gilaburu meyvelerinin konvektif olarak kurutulmasında kurutucu sıcaklığının 60 °C'den 90 °C'ye çıkarılmasıyla antioksidan kapasitesi değerinin arttığını vurgulamıştır. Çulluk (2023) buğday ruşeymini mikrodalga (100 W, 150 W ve 200 W), konvensiyonel (80 °C, 90 °C ve 100 °C), vakumlu (20-60 mmHg ile 80-100 °C) ve hibrit kurutma teknikleri ile kurutmuş ve DPPH yöntemine göre en düşük antioksidan kapasitesinin mikrodalga kurutma tekniğinde, en yüksek değerinin ise mikrodalga-konvektif kombinasyonunda elde edildiğini raporlamıştır. Turkmen vd. (2005) ısıtma işlemlerin ıspanak, brokoli, yeşil fasulye ve biberin antioksidan kapasitesini önemli düzeyde artırdığını raporlamıştır.

Dal (2022) gilaburu meyvelerini 60 °C, 70 °C ve 80 °C hava sıcaklıklarında konvektif kurutma yöntemi ile kurutmuştur. Çalışmada belirtilen sıcaklıklar için pH diferansiyel yöntemi ile antosiyanin konsantrasyonunun sırasıyla; 6,21, 16,85 ve 18,26 mg Cyn-3-glu⁻¹ 100 g_{KM} olduğu belirtilmiştir. Yine aynı çalışmada bulgularımıza benzer şekilde kurutucu hava sıcaklığının yükseltilmesiyle gilaburu örneklerinin antosiyanin içeriğinin arttığı raporlanmıştır. Dash vd. (2021) sohiong meyvesinin mikrodalga destekli vakumlu

kurutulmasında vakum etkisinin artmasıyla antosiyanin konsantrasyonunun arttığını kaydetmiştir. Moon vd. (2015) tarafından yürütülen bir çalışmada kırmızı ve mor patates dilimleri 60 °C, 70 °C ve 80 °C sıcaklıklarda konvektif olarak kurutulmasında sıcaklık düzeyinin yükseltilmesiyle kuruma süresinin kısaldığı, bununla ilişkili olarak da antosiyanin konsantrasyonunun yüksek sıcaklıkla artış gösterdiği vurgulanmıştır. Çağındı (2016) kırmızı üzüm suyunu 0, 10, 30 ve 60 saniye süre ile 700 W mikrodalga kurutma tekniği ile kurutmuştur. Çalışmada uygulanan mikrodalga süresinin uzamasıyla antosiyanin madde miktarında kayıpların arttığı kaydedilmiştir. Metiner ve Ersus (2023) aronya meyvesini dondurarak (-25 °C), konvektif (65 °C) ve vakumlu kurutma (65 °C + 517,14 mmHg) tekniklerini kullanarak kurutmuşlardır. Çalışmamıza benzer şekilde en yüksek antosiyanin madde miktarı dondurarak kurutma tekniğinde ölçerken, en düşük antosiyanin miktarını vakumlu kurutma tekniğinde elde etmişlerdir. Akcicek vd. (2023) yaban mersinini vakumlu, dondurarak, konvektif ve ultrses destekli vakumlu kurutma yöntemleri ile kurutmuş olup, uzun kuruma sürelerinin antosiyanin miktarını azalttığını kaydetmişlerdir. Martín-Gómez vd. (2020) yaban mersininin 30 °C, 40 °C ve 50 °C hava sıcaklıklarında konvektif kurutulmasında artan sıcaklık düzeyinin antosiyanin konsantrasyonunu artırdığını vurgulamışlardır.

Çetin vd. (2024) mikrodalga tekniği ile kurutulan muz dilimlerini RBF (Radyal temelli fonksiyon) Ağı, Çok Katmanlı Algılayıcı ve WiSARD kullanılarak sınıflandırılmasında, R, G, B, L, a, b, X, Y ve Z'den belirli görüntü dokularını kullanan modellerin MLP modelinde muz dilimlerini ortalama %97,2 doğrulukla sınıflandırabildiğini belirtmişlerdir. Günaydın vd. (2024) mikrodalga kurutma yöntemi ile kurutulan havuçları renk uzayına göre RF, DT, LMT, REP Ağacı, MLP, k-NN, LDA ve BAG algoritmalarını kullanarak sınıflandırmış ve en başarılı modelin %97,00'lık bir doğruluk oranı ile RF algoritması olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmamızda da geleneksel gruba için en yüksek sınıflandırma doğruluğu (%75,63) Rastgele Orman algoritmasında belirlenmiştir. Ropelewska vd. (2023) vakumla kurutulmuş muz dilimlerini RGB, LAB ve XYZ renk kanallarına dönüştürmüştür. Daha sonra, RF, MLP, PART, LB ve BN, makine öğrenimi algoritmaları ile sınıflandırılmıştır. Çalışma, RF algoritmasının RGB ve LAB için sırasıyla %93,56 ve %95,89 oranlarıyla en yüksek doğruluk oranlarına ulaştığını vurgulamışlardır. Piedad vd. (2018) muz dilimlerinin RGB renk değerlerini ve boyut özelliklerini kullanarak bunları geleneksel makine öğrenimi algoritmalarını kullanarak

sınıflandırma işlemini gerçekleştirmişler ve sonuç olarak RF (Rastgele Orman) algoritmasının %94,2 ile en yüksek sınıflandırma doğruluğuna sahip olduğunu bildirmişlerdir. Ropelewska ve Szwejda-Grzybowska (2021) Bayes Net, MLP, RF ve Meta algoritmalarını kullanarak üç farklı biber tohumunu RGB, LAB ve XYZ renk kanallarına ayırarak kategorize etmişlerdir. Araştırmacılar, MLP algoritmasının biber türlerinin tohumlarını RGB, Lab ve XYZ renk uzaylarında sırasıyla %89, %90 ve %82 doğrulukla doğru bir şekilde kategorize ettiğini raporlamışlardır.

Genel olarak bu çalışmada, bağıl nemin yüksek olması gilaburu örneklerinin gölgede kuruma süresini uzattı. Ortamın bağıl nemini düşürebilecek bir (kimyasal hava kurutucu gibi) sistemin iyi olması kurutma koşullarının iyileştirilmesine katkı sağlayacaktır. Bununla birlikte, kurutma süresince gilaburu meyvelerinin kütle azalmalarını otomatik olarak kaydedebilecek kurutucu içerisine yerleştirilmiş bir ekipmanın, kinetik hesaplamalarında kolaylık sağlayacağı öngörülmektedir. Manuel olarak sürekli olarak ürünleri fırın içinden alıp hassas terazide kütle ölçümü alınması örneklerin her seferinde dış ortama maruz kalmasına ve az da olsa nem almasına sebep olarak kuruma süresinin uzaması yol açmıştır. Bu da enerji sarfiyatının artmasına yol açmaktadır. Bu koşullar çalışmamızın sınırlayıcı yönlerini oluşturmaktadır.

4.2. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, başlangıç nem içeriği $4,959 \pm 0,002 \text{ kg}_{\text{su}} \text{ kg}_{\text{KM}}^{-1}$ ($\%83,22 \pm 0,05 \text{ y.b.}$) olarak belirlenen gilaburu meyveleri son nem içeriği $0,142 \pm 0,001 \text{ kg}_{\text{su}} \text{ kg}_{\text{KM}}^{-1}$ ($\%12,57 \pm 0,03 \text{ y.b.}$) oluncaya dek gölgede, $-80 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de dondurarak, $70 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $80 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $90 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de konvektif, $80 \text{ }^{\circ}\text{C} + 200 \text{ mmHg}$ ve $80 \text{ }^{\circ}\text{C} + 400 \text{ mmHg}$ sıcaklık ve basınç uygulamalarında vakumlu, 100 W çıkış gücünde mikrodalga, $100 \text{ W} + 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $100 \text{ W} + 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $100 \text{ W} + 90 \text{ }^{\circ}\text{C}$ konvektif-mikrodalga kombinasyonları kullanılarak hibrit kurutma yöntemi ile kurutulmuştur. Bu kurutma işlemleri yukarıda belirtilen sırayla; 47520, 10080, 1980, 900, 450, 270, 210, 208, 150, 136, 100 dakikada tamamlanmıştır. En uzun kurutma süresi 33 gün ile gölgede kurutma iken, bunu 7 gün ile dondurarak kurutma tekniği takip etmiştir. Elde edilen bulgular daha önce literatürde tanımlanmış olan 12 farklı ince tabaka kurutma eşitliği ile modellenmiştir. Bu kapsamda, deneysel verilere en yakın sonuçlar 70°C için 0,9983 regresyon katsayısı ile Modified Logistic, $80 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $90 \text{ }^{\circ}\text{C}$ için sırasıyla; 0,9992 ve 0,9992 regresyon katsayıları ile Jena&Das, ve 100 W için 0,9991 regresyon katsayısı ile Logistic model en başarılı model olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde, $100 \text{ W} + 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $100 \text{ W} + 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $100 \text{ W} + 90 \text{ }^{\circ}\text{C}$ için sırasıyla; 0,9999, 0,9995 ve 0,9993 regresyon katsayıları ile Logistic model en başarılı model olarak seçilmiştir. Ayrıca gölgede kurutma için 0,9970 regresyon katsayısı ile en başarılı modelin Alibaş modeli olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte $80 \text{ }^{\circ}\text{C} + 200 \text{ mmHg}$ ve $80 \text{ }^{\circ}\text{C} + 400 \text{ mmHg}$ sıcaklık ve basınç uygulamalarının birlikte kullanıldığı vakumlu kurutma yönteminde belirtilen uygulamalar için sırasıyla; 0,9895 ve 0,9939 regresyon katsayıları ile geliştirilmiş Logistic ve Jena&Das model en iyi model olarak belirlenmiştir.

Konvektif ve hibrit kurutma tekniklerinde kurutucu hava sıcaklığının artırılmasıyla kuruma hızının arttığı kaydedilmiştir. Benzer şekilde, vakumlu kurutma tekniğinde uygulanan basınç değerinin artmasıyla kuruma hızının arttığı raporlanmıştır. Toplam enerji tüketiminin en fazla olduğu yöntem dondurarak kurutma yöntemi olup, bunu konvektif kurutma tekniği izlemiştir. Buna karşın, toplam enerji tüketimi bakımından en efektif sonuçlar mikrodalga kurutma yönteminde belirlenmiştir. Bir diğer kurutucu performans değeri olan özgül enerji tüketiminin en yüksek değeri $100 \text{ W} + 90 \text{ }^{\circ}\text{C}$ hibrit kurutma yönteminde ölçülürken, en düşük değeri dondurarak kurutmada elde edilmiştir. Enerji etkinliği açısından en iyi sonuçlar sırasıyla; mikrodalga, hibrit ve vakumlu kurutma

tekniklerinde elde edilmiştir. Buna ilaveten, özgül nem çekme oranının (ÖNÇÖ) en yüksek değeri 2,14 (kg kWh⁻¹) ile dondurarak kurutma tekniğinde ölçülmüş olup, bunu 1,16 (kg kWh⁻¹) ile 70 °C’de konvektif kurutma tekniği izlemiştir. Termal etkinliğin en yüksek değeri en kısa kurutma süresine sahip olan 100 W + 90 °C ölçülmüştür. Bunu, vakumlu kurutma teknikleri takip etmiştir. Uygulanan sıcaklık ve basınç düzeyinin artmasıyla termal etkinliğin de arttığı raporlanmıştır.

Tüm kurutma sistemleri dikkate alındığında en düşük askorbik asit vakumlu ve hibrit kurutma yöntemlerinde ölçülürken, en yüksek değerler mikrodalga ve konvektif kurutma tekniklerinde belirlenmiştir. Uzun kuruma sürelerinin gilaburu meyvelerinde askorbik asit içeriğini olumsuz yönde etkilediği sonucuna varılmıştır. Toplam fenolik madde açısından en belirgin kayıp 100 W’da mikrodalga kurutma tekniğinde ölçülmüştür. Hem DPPH yöntemine göre hem de ABTS⁺ radikali yöntemine göre en yüksek antioksidan değerleri taze üründe ölçülürken, en belirgin kayıplar sırasıyla 100 W’da mikrodalga ve dondurarak kurutma tekniklerinde meydana gelmiştir. Dondurarak kurutma yöntemi düşük sıcaklık ve basınç altında gerçekleştirildiği için örneklerde termal ve oksidatif bozunmaya neden olmamış ve en yüksek antosiyanin içeriği bu yöntemde ölçülmüştür. Tüm kurutma sistemleri dikkate alındığında antosiyanin içeriği bakımından en düşük değerler konvektif kurutma tekniğinde ölçülmüştür. Vakumlu kurutma tekniğinde uygulanan basınç değerinin yükseltilmesi antosiyanin konsantrasyonunun artmasını sağlamıştır.

Gilaburu meyvelerinde kurutma sonrası kırmızılık/yeşillik (*a*) parametresinin en yüksek değeri sırasıyla dondurarak ve hibrit kurutma yöntemlerinde ölçülmüştür. Tüm kurutma yöntemlerinin gilaburu meyvelerinin kırmızılık değeri açısından uygun olduğu tespit edilmiştir. Rengin mavilik/sarılık düzeyinin bir göstergesi olan *b* parametresinin taze ürüne en yakın değeri vakumlu kurutma yönteminde elde edilmiştir. Sarılık/mavilik değerinin (*b*) en yüksek değeri gölgede kurutma tekniğinde ölçülmüştür. Ürün renginin pastel ve açık tonlarının belirteci olan kromanın tazeye en yakın değeri vakumlu kurutma yönteminde ölçülmüştür. Tüm kurutma yöntemlerinin kroma değerinde bir miktar artışa sebep olduğu yani ürünlerin renginde kayda değer miktarda matlaşma meydana gelmediği görülmüştür. Toplam renk değişimi açısından taze ürün dikkate alındığından taze örneklerde herhangi bir renk değişimi söz konusu olmamıştır. Toplam renk değişiminin en fazla olduğu yöntemlerin sırasıyla 70 °C’de konvensiyonel kurutma ve gölgede

kurutma yöntemi olduğu kaydedilmiştir. Buna karşın, en az renk değişiminin vakumlu kurutmada olduğu belirlenmiştir. Kahverengileşme indeksinin en düşük değeri, başka bir ifadeyle ürün renginde en fazla sararma/reng açılmasının ürünlerin en uzun süre sıcak hava etkisine maruz kaldığı 70 °C konvektif kurutma yönteminde olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, dondurarak kurutulmuş gilaburu örneklerinde ölçülen kahverengileşme indeksi değerinin taze ürüne oldukça yakın olduğu tespit edilmiştir. Düşük kurutma sıcaklıkları uzun kurutma süresi ile ilişkili olarak gilaburu örneklerinin renk özellikleri üzerinde olumsuz etkilere yol açmıştır. Konvektif ve mikrodalga kurutma yöntemlerinin örneklerin *L* (parlaklık) değerini önemli düzeyde azalttığı, yani kararmayı artırdığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla gilaburu örneklerinin kurutulmasında konvektif ve mikrodalga kurutma tekniklerinin renk özellikleri açısından uygun olmadığı görülmüştür. Taze örneklerde pH ve Brix° (%) değerleri sırasıyla; 4,40 ve 4,30 olarak belirlenmiştir. Kurutma işleminden sonra pH içeriği 3,55-5,31, Brix° (%) 2,9-7,5 arasında değişkenlik göstermiştir. Aynı zamanda en yüksek rehidrasyon kapasitesi 3,922 ile dondurarak kurutulmuş ürünlerde ölçülürken, en yüksek büzülme oranına 0,79 ile 100 W+ 90°C hibrit kurutma tekniğinde ulaşılmıştır.

Kurutulmuş gilaburu meyvelerinde makro ve mikro besin elementleri açısından en iyi sonuçlar fosfor (P), kükürt (S), sodyum (Na) ve çinko (Zn) için 100 W+70 °C’de hibrit kurutmada, bakır (Cu), manganez (Mn) ve kalsiyum (Ca) için 80 °C + 200 mmHg’de vakumlu kurutmada, demir (Fe) ve potasyum (K) için 80 °C’de konvektif kurutmada, magnezyum (Mg) için ise 100 W + 80 °C’de hibrit kurutmada elde edilmiştir. En uzun kuruma sürelerine sahip olan gölgede, dondurarak, 70 °C’de konvektif ve 100 W’da mikrodalga kurutma yöntemleri, uzun süre hava ile temas eden ürünlerde oksidasyonun artmasına, bununla ilişkili olarak da makro-mikro besin elementlerinde ciddi kayıplara neden olmuştur.

Geleneksel kurutma tekniklerinde tüm renk kanalları için en yüksek doğrulukta sınıflandırma sağlayan makine öğrenmesi algoritmaları sırasıyla; RF (%75,63) ve MLP (%73,75) algoritmaları iken, en düşük sınıflandırma doğruluğu veren algoritmalar sırasıyla; BayesNet (%65,83) ve NB (%68,54) algoritmaları olmuştur. Elde edilen sonuçlar, geleneksel kurutmada ağaç modellerinden RF ve LMT’nin başarısını ortaya koymuştur. Hibrit kurutma tekniklerinde tüm renk kanalları için en yüksek doğrulukta sınıflandırma sağlayan algoritmalar sırasıyla; SVM (%69,00) ve MLP (%68,50)

algoritmaları olmuş, bunu NB (%67,00) ve LMT (%67,00) algoritmaları takip etmiştir. Hibrit kurutmada en düşük sınıflandırma doğruluğu veren algoritmalar ise sırasıyla; BayesNet (%63,75) ve DT (%64,50) Sonuçlar, hibrit kurutma koşullarında SVM ve MLP algoritmalarının başarısını ortaya koysa da, hibrit kurutmada ürünlerin renk özellikleri birbirine yakın olduğundan sınıflandırma doğruluklarının orta düzeyde olduğu görülmüştür.

Özet olarak;

- Bu tez çalışmasında, kuruma hızının kurutmanın ilk aşamalarında yüksek olduğu, ancak ürünler nem kaybettikçe kuruma hızının da azaldığı,
- Çalışmada ele alınan ince tabaka kurutma eşitliklerinin matematiksel modellemede her kurutma koşulu için başarılı sonuçlar verdiği,
- Toplam enerji tüketiminin en yüksek olduğu yöntemin dondurarak kurutma (10,08 kWh), en az ise mikrodalga kurutma (0,71 kWh) olduğu,
- Termal etkinlik oranının en yüksek değerine hibrit kurutmada (%2,56), en düşük değerine dondurarak kurutmada (%0,06) ulaşıldığı,
- Konvektif ve hibrit kurutma yöntemlerinde kurutucu hava sıcaklığının, vakumlu kurutma tekniğinde ise uygulanan basınç değerinin yükseltilmesiyle özgül enerji tüketiminin arttığı,
- Enerji etkinliğinin en yüksek değerinin mikrodalga kurutmada (%7,31) olduğu,
- Tüm kurutucu sistemler dikkate alındığında enerji etkinliği açısından en iyi sonuçlar sırasıyla; mikrodalga (%7,31), hibrit (%5,74-6,61) ve vakumlu kurutmada (%4-4,29) elde edildiği,
- Uygulanan sıcaklık ve basınç düzeyinin artmasıyla termal etkinliğin de arttığı,
- Rehidrasyon kapasitesinin dondurarak kurutulmuş ürünlerde, büzülmenin ise hibrit kurutma tekniği ile kurutulmuş numunelerde daha yüksek olduğu,

- C vitamini içeriğinin en iyi korunduğu yöntemin 100 W + 70 °C’de hibrit kurutmada (2,74 mg g⁻¹), en belirgin C vitamini kaybının ise 80 °C + 400 mmHg’de vakumlu kurutma (0,76 mg g⁻¹) olduğu,
- Taze meyveye en yakın fenolik miktarının 100 W + 90 °C’de hibrit kurutmada (40,28 mg g⁻¹) olduğu,
- Antioksidan kapasitesindeki en belirgin kaybın DPPH yöntemine göre mikrodalga kurutmada (%26,71), ABTS⁺ yöntemine göre dondurarak kurutmada (53,41 µg TE g⁻¹) olduğu,
- Antosiyanin konsantrasyonunun en yüksek değerinin dondurarak kurutmada (109,53 mg kg⁻¹), en düşük değerinin ise 80 °C + 200 mmHg’de vakumlu kurutmada (10,32 mg kg⁻¹) belirlendiği,
- Kırmızı renge hâkim olan taze gilaburu meyvesine en yakın kırmızılık değerinin (a*) 100 W + 80 °C’de hibrit kurutmada (42,44), en düşük değerinin ise uzun kuruma süresi ile ilişkili olarak 70 °C’de konvektif kurutmada (25,47) elde edildiği,
- Tüm kurutma yöntemleri içerisinde meyve renginde en fazla koyulaşmanın, bir başka deyişle en düşük L* değerinin konvektif kurutmada (11,79-13,29) belirlendiği,
- Toplam renk değişiminin en az olduğu yöntemin 80 °C + 400 mmHg’de vakumlu kurutma (10,93), en fazla olduğu yöntemin ise 70 °C’de konvektif kurutma (38,64) olduğu,
- Kahverengileşme indeksinin en düşük değeri, başka bir ifadeyle ürün renginde en fazla sararma/rengin açılmasının ürünlerin uzun süre sıcak hava etkisine maruz kaldığı 70 °C konvektif kurutma yönteminde olduğu,
- Konvektif kurutma yönteminin gilaburu örneklerinde parlaklık düzeyini önemli ölçüde azalttığı, yani ürün renginde koyulaşmaya neden olduğu,
- Tüm kurutma yöntemleri içerisinde Fosfor (P), Kükürt (S), Sodyum (Na), magnezyum (Mg) ve Çinko (Zn) içeriği açısından en iyi sonuçların hibrit kurutmada, bakır (Cu), manganez (Mn) ve kalsiyum (Ca) içeriği açısından en efektif sonuçların vakumlu kurutmada ve potasyum (K) içeriği bakımından en iyi sonuçların konvektif kurutma tekniğinde elde edildiği sonucuna varılmıştır.

- Özellikle dondurarak ve gölgede kurutma yöntemlerinin makro-mikro besin elementi konsantrasyonu açısından belirgin kayıplara neden olduğu,
- Geleneksel yöntemlerle kurutulmuş gilaburu örneklerinin renk kanallarına göre sınıflandırılmasında en başarılı makine öğrenmesi algoritmasının RF (%75,63), hibrit yöntemlerle kurutmada en başarılı makine öğrenmesi algoritmasının SVM (%69,00) olduğu sonucuna varılmıştır.

Öneriler,

- Gilaburu meyvesinin farklı kurutma tekniklerindeki fiziksel ve biyoaktivite özelliklerinin belirlenmesi,
- Hibrit kurutmada (mikrodalga+konvektif) farklı mikrodalga ve sıcaklık kombinasyonların uygulanması ve farklı meyveler için optimum değerlerin tespit edilmesi,
- Gilaburu meyvelerinin renk, biyoaktivite ve makro-mikro besin elementi konsantrasyonunun iyi düzeyde korunması amacıyla uzun süreli kurutma tekniklerinden kaçınılması,
- Gilaburu meyvesinin sadece fermente değil kurutulmuş olarak da tüketilmesi ve farklı tüketim potansiyelinin araştırılması,
- Hem enerji tüketimini en aza düşürecek hem de nihai ürün kalitesini koruyacak kurutma sistemlerinin tasarımı ve optimizasyonu,
- Özellikle hibrit kurutma tekniklerinde renk özellikleri birbirine oldukça yakın olan kurutulmuş gilaburu örneklerinin görüntülerinden yola çıkılarak derin öğrenme gibi yenilikçi yaklaşımlarla kurutma yöntemlerine göre sınıflandırılmaların yapılması önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- Abbaspour-Gilandeh, Y., Kaveh, M., Fatemi, H., Hernández-Hernández, J. L., Fuentes-Penna, A., & Hernández-Hernández, M., 2020. Evaluation of the changes in thermal, qualitative, and antioxidant properties of terebinth (*Pistacia atlantica*) fruit under different drying methods. **Agronomy**, **10**(9): 1378.
- Afacan, F. Ö., Sönmezdağ, A.S., 2020. Antosiyaninlerin beslenmedeki önemi ve sağlık üzerine etkileri. **Karya Journal of Health Science**, **1**(1): 19-24.
- Aghbashlo, M., Mobli, H., Rafiee, S., Madadlou, A., 2012. Energy and exergy analyses of the spray drying process of fish oil microencapsulation. **Biosystems Engineering**, **111**(2): 229-241.
- Agudo, J. E., Pardo, P. J., Sánchez, H., Pérez, Á. L., Suero, M.I., 2014. A low-cost real color picker based on arduino. **Sensors**, **14**(7): 11943-11956.
- Akbulut, M., Calisir, S., Marakoglu, T., Coklar, H., 2008. Chemical and technological properties of European cranberrybush (*Viburnum opulus* L.) fruits. **Asian Journal of Chemistry**, **20**(3): 1875.
- Akcicek, A., Avci, E., Tekin-Cakmak, Z. H., Kasapoglu, M. Z., Sagdic, O., Karasu, S., 2023. Influence of different drying techniques on the drying kinetics, total bioactive compounds, anthocyanin profile, color, and microstructural properties of blueberry fruit. **ACS OMEGA**, **8**(44): 41603-41611.
- Aksoy, A., 2019. Farklı Kurutma Yöntemlerinin Kıymanın Kurutma Kinetiği, Mikroyapısı, Rengi ve Rehidrasyon Oranı Üzerine Etkisi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 115 s.
- Aksoy, A., Karasu, S., Akcicek, A., Kayacan, S., 2019. Effects of different drying methods on drying kinetics, microstructure, color, and the rehydration ratio of minced meat. **Foods**, **8**(6): 216.
- Ali, M. A., Yusof, Y. A., Chin, N. L., Ibrahim, M.N., 2016. Effect of different drying treatments on colour quality and ascorbic acid concentration of guava fruit. **International Food Research Journal**, **23**: S155-S161

- Alibaş, İ., 2012. Sıcak havayla kurutulan enginar (*Cynara cardunculus* L. var. scolymus) dilimlerinin kuruma eğrilerinin tanımlanmasında yeni bir modelin geliştirilmesi ve mevcut modellerle kıyaslanması. **Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi**, **26**(1): 49-61.
- Alibas, I., 2014. Mathematical modeling of microwave dried celery leaves and determination of the effective moisture diffusivities and activation energy. **Food Science and Technology**, **34**: 394-401.
- Alibas, I., Yilmaz, A., Asik, B.B., Erdoğan, H., 2021. Influence of drying methods on the nutrients, protein content and vitamin profile of basil leaves. **Journal of Food Composition and Analysis**, **96**: 103758.
- Alibaş, İ., Yılmaz, A., Günaydın, S., Arkain, B., 2021. Influence of drying methods on drying kinetics and color parameters. **Turkish Journal of Agriculture: Food Science and Technology**, **9**(5): 897-908.
- Alifakı, Y.Ö., Şakıyan, Ö., İşçi, A., 2018. Gilaburu (*Viburnum opulus* L.) meyvesinden fenolik bileşiklerin ultrason destekli ekstraksiyonu. **GIDA**, **43**(5): 846-855.
- Altaş, Z., Özgüven, M. M., Yanar, Y., 2019. Use of image processing techniques in determination of plant disease and pest levels: the case study of sugar beet leaf disease, pp.489-497. *International Erciyes Agriculture, Animal & Food Sciences Conference, 24-27 April, 2019, Kayseri*.
- Altay, K., 2022. Investigation of drying kinetics and powder product properties of dragon fruit powders dried by microwave assisted foam drying method. **Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology**, **10**(9): 1627-1637.
- Altikat, S., Alma, M.H., Gulbe, A., Kucukerdem, K., Kus, E., 2022. Effects of different power levels used in microwave drying method on color changes of oyster mushroom (*Pleurotus Ostreatus*). **Journal of the Institute of Science and Technology**, **12**(4): 2045-2053.
- Andres, A., Reyes, R., Sansano, M., Alcañiz, D., Heredia, A., Reyes, E., 2018. Innovative microwave technologies for food drying processes, pp. 2025-2042. *Polytechnic University of Valencia Congress, 21st International Drying Symposium, September, 2018, France*.

- Arslan, M., Erbil, N., Murathan, Z.T., 2018. Ardahan ve çevresinde yabani olarak yetişen gilaburu meyve ekstraktının antimikrobiyal, antioksidan ve antimutajenik aktivitelerinin araştırılması. **GÜFBED/GUSTIJ**, **8**(1): 18-24
- Aslan, M., Ertaş, N., 2021. Foam drying of aquafaba: Optimization with mixture design. **Journal of Food Processing and Preservation**, **45**(3): e15185.
- Ataro, A., McCrindle, R.I., Botha, B.M., McCrindle, C.M.E., Ndibewu, P.P., 2008. Quantification of trace elements in raw cow's milk by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). **Food Chemistry**, **111**(1): 243-248.
- Atınç, M., Kalkan, İ., 2018. Flavonoidler ve sağlık üzerine etkileri. **Aydın Gastronomy**, **2**(1): 31-38.
- Babalıs, S.J., Papanicolaou, E., Kyriakis, N., Belessiotis, V.G., 2006. Evaluation of thin-layer drying models for describing drying kinetics of figs (*Ficus carica*). **Journal of Food Engineering**, **75**: 205-214.
- Başıyigit, B., Karaaslan, M., 2020. Farklı kurutma tekniklerinin keme mantarının (*terfezia boudieri chatin*) özelliklerine etkileri. **Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi**, **5**(3): 239-246.
- Beigi, M., 2016. Energy efficiency and moisture diffusivity of apple slices during convective drying. **Food Science and Technology (Campinas)**, **36**(1): 145-150.
- Bezyna, L.A., Kutovoy, V.A., 2005. Vacuum drying and hybrid technologies. **Stewart Postharvest Review**, **4**: 6-13.
- Bhat, S. A., Huang, N.F., 2021. Big data and ai revolution in precision agriculture: Survey and challenges. **IEEE Access**, **9**: 110209-110222.
- Bonazzi, C., Dumoulin, E., 2011. Quality changes in food materials as influenced by drying processes. **Modern Drying Technology**, **3**: 1-20.
- Boyacı, H., Çöteli, E., Karataş, F., 2016. Gilaburu (*Viburnum opulus* L.) meyvesindeki A, E vitamini, beta-karoten, likopen, redükte ve okside glutatyon miktarlarının araştırılması. **Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, **9**(1): 11-117.

- Bölek, S., Mercan, M., Vursavaş, M., Arslan, D., Yurddaş, A., 2022. Effects of environmentally friendly fluidized bed drying on the quality of *Viburnum opulus*. **Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)**, **21**(1).
- Brar, A. S., Kaur, P., Kaur, G., Subramanian, J., Kumar, D., Singh, A., 2020. Optimization of process parameters for foam-mat drying of peaches. **International Journal of Fruit Science**, **20**(sup3): S1495-S1518.
- Büyükcan, M.B., 2008. Kayısıda Bazı İçsel Kalite Kriterlerinin Fourier Dönüşümlü-Yakın Kızıl Ötesi (FT-NIR) Spektroskopi Kullanarak Belirlenmesi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale, 69 s.
- Calin-Sanchez, A., Figiel, A., Wojdyło, A., Szarycz, M., Carbonell-Barrachina, Á.A. (2014). Drying of garlic slices using convective pre-drying and vacuum-microwave finishing drying: kinetics, energy consumption, and quality studies. **Food and Bioprocess Technology**, **7**: 398-408.
- Cam, M., Hisil, Y., Kuscu, A., 2007. Organic acid, phenolic content, and antioxidant capacity of fruit flesh and seed of *Viburnum opulus*. **Chemistry of Natural Compounds**, **43**: 460-461.
- Cao, X., Zhang, M., Fang, Z., Mujumdar, A. S., Jiang, H., Qian, H., Ai, H., 2017. Drying kinetics and product quality of green soybean under different microwave drying methods. **Drying Technology**, **35**(2): 240-248.
- Changrue, V., Raghavan, V.G., Orsat, V., Vijaya Raghavan, G., 2006. Microwave drying of fruits and vegetables. **Stewart Postharvest Review**, **2**(6): 1-7.
- Chaturvedi, K., Sharma, N., Yadav, S.K., 2019. Composite edible coatings from commercial pectin, corn flour and beetroot powder minimize post-harvest decay, reduces ripening and improves sensory liking of tomatoes. **International Journal of Biological Macromolecules**, **133**: 284-293.
- Chatzilia, T., Kaderides, K., Goula, A.M., 2023. Drying of peaches by a combination of convective and microwave methods. **Journal of Food Process Engineering**, **46**(4): e14296.

- Christofides, S.R., Setarehnejad, A., Fairchild, R., Muzzalupo, I., Bruno, L., Muto, A., Chiappetta, A., Bitonti M.B., Müller C.T., Rogers H.J, Spadafora, N. D. (2022). Cross-cultural differences between Italian and UK consumer preferences for ‘Big Top’nectarines in relation to cold storage. **Foods**, **11**(16): 2424.
- Chua, K.J., Chou, S.K., 2014. Recent advances in hybrid drying technologies. **Emerging Technologies For Food Processing**, 447-459.
- Coklar, H., Akbulut, M., Kılinc, S., Yıldırım, A., Alhassan, I. 2018. Effect of freeze, oven and microwave pretreated oven drying on color, browning index, phenolic compounds and antioxidant activity of hawthorn (*Crataegus orientalis*) fruit. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, **46**(2): 1842-4309.
- Çağındı, Ö., 2016. Mikrodalga uygulamasının kırmızı üzüm suyunun antosiyanin içeriği ile bazı fizikokimyasal özellikleri üzerine etkisi. **Akademik Gıda**, **14**(4): 356-361.
- Çağındı, Ö., 2016. Mikrodalga uygulamasının kırmızı üzüm suyunun antosiyanin içeriği ile bazı fizikokimyasal özellikleri üzerine etkisi. **Akademik Gıda**, **14**(4): 356-361.
- Çanga, E.M., Dudak, F.C., 2019. Characterization of cellulose acetate/gum Arabic fibers loaded with extract of Viburnum opulus L. fruit. **Lwt**, **110**: 247-254.
- Çemtekin, B., Kiliç, E., Karabacak, L., Dağtekin, T., Tiryaki, T., Soyuçok, A., Şimsek, A., Kiliç, B., 2019. An evaluation of guelder rose (Viburnum opulus L.) and hawthorn (Crataegus monogyna) concentrates as alternative antioxidant sources to BHT and nitrite in poultry meat model system. **Scientific Papers. Series D. Animal Science**, **62**(2).
- Çetin, N., 2019. Kurutma koşullarının elma ve portakalda renk özelliklerine etkisi. **Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi**, **17**: 463-470.
- Çetin, N., 2021. Elma Çeşitlerinin Kurutulmasında Farklı Kurutma Yöntemlerinin Etkisinin Belirlenmesi ve Yapay Zekâ Algoritmalarıyla Karşılaştırılması. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kayseri, 221 s.

- Çetin, N., 2022a. Multivariate machine learning approach for size and shape prediction of sunflower seeds. **Journal of the Institute of Science and Technology**, **12**(4): 2034-2044.
- Çetin, N., 2022b. Comparative assessment of energy analysis, drying kinetics, and biochemical composition of tomato waste under different drying conditions. **Scientia Horticulturae**, **305**:111405.
- Çetin, N., Ciftci, B., Kara, K., Kaplan, M., 2023c. Effects of gradually increasing drying temperatures on energy aspects, fatty acids, chemical composition, and in vitro ruminal fermentation of acorn. **Environmental Science and Pollution Research**, **30**(8): 19749-19765.
- Çetin, N., Ropelewska, E., Noutfia, Y., Günaydın, S., 2024. Recognition performance of different artificial neural networks for distinguishing banana slices subjected to different combinations of pretreatment and microwave drying. **Food Control**, **163**: 110488.
- Çetin, N., Ropelewska, E., Sabancı, K., 2023a. The innovative approach to the assessment of differences in image textures between windfall apple samples dried using non-thermal and thermal techniques without and with ultrasound pretreatment. **Expert Systems with Applications**, 120917.
- Çetin, N., Sağlam, C., 2023. Effects of ultrasound pretreatment assisted drying methods on drying characteristics, physical and bioactive properties of windfall apples. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, **103**(2): 534-547.
- Çetin, N., Turan, S., Gürçan, K., Türkay, Ş. N., Duman, Ş., Karaman, K., 2023b. Effects of hybrid drying on kinetics, energy analysis and bioactive properties of sour black mulberry (*Morus nigra* L.). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, **66**: e23220250.
- Çulluk, B., 2023. Farklı Kurutma Tekniklerinin Buğday Ruşeyminin Bazı Kalite Özellikleri Üzerine Etkisi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Denizli, 165 s.
- Dal, F.F., Karacabey, E., 2021. Determination of the physical, physio-chemical and chemical properties of gilaburu fruits (*Viburnum opulus*) dried by convectional

- drying technique. **Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology**, 9: 2547-2551.
- Dal, F.M.. 2022. Farklı Yöntemlerle Kurutulan Gilaburu Meyvelerinin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 89 s.
- Dash, K.K., Shangpliang, H., Bhagya Raj, G.V.S., Chakraborty, S., Sahu, J.K., 2021. Influence of microwave vacuum drying process parameters on phytochemical properties of sohiong (prunus nepalensis) fruit. **Journal of Food Processing and Preservation**, 45(3): e15290.
- Daştan, S., İşleroğlu, H., 2020. Köpük kurutma işlemi ve son ürün üzerine kurutma koşullarının etkisi. **Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi**, 9(2): 63-76.
- Demiray, E., Tülek, Y., 2020. Color and ascorbic acid degradation kinetics of red pepper (Capsicum annuum L.) slices during vacuum drying. **Akademik Gıda**, 18(1): 19-26.
- Deng, L.Z., Mujumdar, A.S., Zhang, Q., Yang, X.H., Wang, J., Zheng, Z.A., ... Xiao, H. W., 2019. Chemical and physical pretreatments of fruits and vegetables: Effects on drying characteristics and quality attributes—a comprehensive review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 59(9): 1408-1432.
- Dinç, M., Aslan, D., İçyer, N.C., Çam, M., 2012. Gilaburu suyunun mikrokapsülasyonu. **Electronic Journal of Food Technology**, 7(2):1-11.
- Doğan, A., Cüneyt, U., Şensoy, R.İ.G., Keskin, N., 2018. Asma yaprak alanın belirlenmesinde farklı iki yöntemin karşılaştırılması. **Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi**, 28(3): 289-294.
- Dong, Y.Y., Huang, Y.S., Xu, B.L., Li, B.C., Guo, B., 2022. Bruise detection and classification in jujube using thermal imaging and DenseNet. **Journal of Food Process Engineering**, 45(3): e13981.
- Doymaz, İ., Tugrul, N., Pala, M., 2006. Drying characteristics of dill and parsley leaves. **Journal of Food Engineering**, 77: 559-565.

- Dönmez, A., Kadakal, Ç., 2024. Hot-air drying and degradation kinetics of bioactive compounds of gilaburu (*Viburnum opulus* L.) fruit: Original Scientific Paper. **Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly**, **30**(1): 59-72.
- Dursun, S.K., Taşova, M., Dinçer, E., İşbilir, M.E., 2024. Assessment of carrier agents in terms of physicochemical, energy analyses and bioactive constituents of blackberry (*Rubus fruticosus* L.) powder processed by convective and hybrid drying methods. **Heat and Mass Transfer**, 1-14.
- Erkorkmaz, F., Altunbay, M., Demirci, Z., Doğan, M., 2023. Chia tohumunun (*salvia hispanica* l.) bileşimi, besinsel değeri ve sağlık faydaları: composition, nutritional value and health benefits of chia seed (*Salvia hispanica* L.). **Scientific and Academic Research**, **2**(1): 96-106.
- Ersoyak, N., Koç, E., Ömeroğlu, P.Y., 2023. Ön işlemlerin kırmızı pancar (*beta vulgaris* l.) pestilinin kurutma kinetiği ve kalite parametreleri üzerindeki etkilerinin araştırılması, pp. 482-492. *International Conference on Engineering, Natural and Social Sciences, 4-6 April, 2023, Konya*.
- Ertekin, C., Firat, M.Z., 2017. A comprehensive review of thin-layer drying models used in agricultural products. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, **57**(4): 701-717.
- Ertugay, M.F., Başlar, M., 2011. Gıdaların kalite özelliklerinin belirlenmesinde yakın kızılötesi (NIR) spektroskopisi. **Gıda**, **36**(1): 49-54.,
- Faller, A.L.K., Fialho, E., 2009. The antioxidant capacity and polyphenol content of organic and conventional retail vegetables after domestic cooking. **Food Research International**, **42**(1): 210-215.
- Farhood, H., Bakhshayeshi, I., Pooshideh, M., Rezvani, N., Beheshti, A., 2022. Recent advances of image processing techniques in agriculture. **Artificial Intelligence and Data Science in Environmental Sensing**, 129-153.
- Fuleki, T., Francis, F.J., 1968. Quantitative methods for anthocyanins. 1. Extraction and determination of total anthocyanin in cranberries. **Journal of Food Science**, **33**(1): 72-77.

- Gahler, S., Otto, K., Bohm, V., 2003. Alterations of vitamin C, total phenolics and antioxidant capacity as affected by processing tomatoes to different products. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, **51**: 7962-7968.
- Garti, H., Garti, H.A., Nyarko, G., 2019. Comparative studies on the nutrient composition of shade- dried and sun-dried leaves of rosselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). **African Journal of Horticultural Science**, **16**: 29-42.
- Geethu, M., Gomez, S., Kumar, A.K., 2023. Physico-chemical, sensorial and microbiological quality of frozen avocado (*persea americana* mill.) slices. **Asian Journal of Dairy and Food Research**. **42**(1): 123-128.
- Göncü, A., Kuzumoğlu, Y., Çelik, İ., 2022. Ticari olarak satılan nar, karadut, ahududu ve frenk üzümü meyve sularından pestil üretilmesi ve bazı kalite özelliklerinin belirlenmesi. **Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi**, **26**(4): 519-527.
- Gu, C., Ma, H., Tuly, J. A., Guo, L., Zhang, X., Liu, D., Ouyang, N., Luo, X., Shan, Y., 2022. Effects of catalytic infrared drying in combination with hot air drying and freeze drying on the drying characteristics and product quality of chives. **LWT**, **161**: 113363.
- Gunaydin, S., Alibas, I., 2023. The influence of short, medium, and long duration common dehydration methods on total protein, nutrients, vitamins, and carotenoids of rosehip fruit (*Rosa canina* L.). **Journal of Food Composition and Analysis**, 105631.
- Gunes, R., Palabiyik, I., Konar, N., Toker, O.S., 2022. Soft confectionery products: Quality parameters, interactions with processing and ingredients. **Food Chemistry**, 132735.
- Guo, J., Zheng, L., Li, Z., 2021. Microwave drying behavior, energy consumption, and mathematical modeling of sewage sludge in a novel pilot-scale microwave drying system. **Science of the Total Environment**, **777**: 146109.
- Güleşci, N., 2019. *Viburnum opulus* L (Adoxaceae) meyvesinin antimikrobiyal, antioksidan ve kimyasal içeriği yönünden metabolizmaya etkilerinin değerlendirilmesi üzerine bir derleme. **Istanbul Gelisim University Journal of Health Sciences**, **9**: 920-928.

- Günaydın, S., 2020. Mikrodalga, Konvektif ve Gölgede Kurutma Yöntemleri Kullanılarak Kurutulmuş Kuşburnu Meyvesinin Kurutma Kinetiği, Renk ve Besin Elementi İçeriği Açısından İncelenmesi. Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa, 67 s.
- Günaydın, S., Ropelewska, E., Sacilik, K., Çetin, N. (2024). Exploration of machine learning models based on the image texture of dried carrot slices for classification. **Journal of Food Composition and Analysis**, **129**: 106063.
- Günaydın, S., Sağlam, C., Çetin, N., 2022. Tarımsal ürünlerin kurutulmasında kullanılan kurutma yöntemleri. **Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi**, **5**(1): 30-45.
- Gürcan, A., 2023. Sarı Mercimek Unu Katkılı Çökelek Peynirlerinin Özellikleri Üzerine Farklı Kurutma Tekniklerinin Etkisi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Denizli, 132 s.
- Henderson. S.M., Pabis, S., 1961. Grain drying theory II. temperature effects on drying coefficients. **Journal of Agricultural Engineering Research**, **6**: 169-174.
- Hii, C.L., Ong, S.P., Yap, J.Y., Putranto, A., Mangindaan, D., 2021. Hybrid drying of food and bioproducts: A review. **Drying Technology**, **39**(11): 1554-1576.
- Horuz, E., Bozkurt, H., Karataş, H., Maskan, M., 2017. Effects of hybrid (microwave-convectional) and convectional drying on drying kinetics, total phenolics, antioxidant capacity, vitamin C, color and rehydration capacity of sour cherries. **Food Chemistry**, **230**: 295-305.
- Huang, W., Zhang, Y., Qiu, H., Huang, J., Chen, J., Gao, L., Omran, M., Chen, G., 2022. Drying characteristics of ammonium polyvanadate under microwave heating based on a thin-layer drying kinetics fitting model. **Journal of Materials Research and Technology**, **19**: 1497-1509.
- Incedayi, B., Dogan, N., Copur, O.U., 2022. Assessment of cactus pear leather (pestil) as a new snack food. **Journal of Food Science and Technology**, **59**(8): 3158-3166.
- Iranshahi, K., Rubinetti, D., Onwude, D. I., Psarianos, M., Schlüter, O. K., Defraeye, T., 2023. Electrohydrodynamic drying versus conventional drying methods: A comparison of key performance indicators. **Energy Conversion and Management**, **279**: 116661.

- Ishimwe, R., Abutaleb, K., Ahmed, F., 2014. Applications of thermal imaging in agriculture-A review. **Advances in Remote Sensing**, **3**(03):128.
- Izli, İ., Taskin, O., Izli, G., 2019. Drying of lime slices by microwave and combined microwave-convective methods. **Italian Journal of Food Science**, **31**(3).
- İlhan, E.P., Çakır, Ö.Ü.Ö., Dertli, E., Şahin, E., 2019. Yabani meyvelerin antioksidan potansiyeli, pp. 2-5. In *Mas International Conference on Mathematics-Engineering-Natural&Medical Sciences-V, 2-5 Mayıs 2019, Erzurum*.
- Jafari, H., Kalantari, D., Azadbakht, M., 2018. Energy consumption and qualitative evaluation of a continuous band microwave dryer for rice paddy drying. **Energy**, **142**: 647-654.
- Jena, S., Das, H., 2007. Modelling for vacuum drying characteristics of coconut presscake. **Journal of Food Engineering**, **79**: 92-99.
- Joudi-Sarighayeh, F., Abbaspour-Gilandeh, Y., Kaveh, M., Hernández-Hernández, J. L., 2022. The optimization of the physical–thermal and bioactive properties of pumpkin slices dried in a hybrid microwave–convective dryer using the response surface method. **Agronomy**, **12**(10): 2291.
- Kabaş, Ö., Öten, M., 2015. Farklı lokasyonlarda yetişen yoncanın bazı fenotip özelliklerinin görüntü işleme yöntemi ile belirlenmesi. **Akdeniz University Journal of the Faculty of Agriculture**, **28**(2): 67-70.
- Kahya, E., Arın, S., 2014. Görüntü işleme yardımıyla meyvelerin dal üzerindeki yerlerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. **Namık Kemal Üniversitesi Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi**, **11**(2): 110-118.
- Kajszczak, D., Zakłós-Szyda, M., Podsędek, A., 2020. *Viburnum opulus* L.—A review of phytochemistry and biological effects. **Nutrients**, **12**(11): 3398.
- Kara, O.O., Küçüköner, E., 2019. Geleneksel bir meyve çerezi: Pestil. **Akademik Gıda**, **17**(2): 260-268.
- Karabacak, A.Ö., 2021. Farklı Yöntemlerle Kurutulan Havuç Pestillerinin Kurutma Karakteristikleri ile Bazı Kalite Parametrelerindeki Değişimin Modellenmesi ve in Vitro Biyoyararlılıklarının Belirlenmesi. Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Bursa, 169 s.

- Karabulut, G., Yemiş, O., 2019. Fenolik bileşiklerin bağlı formları ve biyoyararlılığı. **Akademik Gıda**, 17(4): 526-537.
- Karakoç, A., Karabulut, M., 2021. Hiperspektral vejetasyon indeksleri kullanarak otlaklarda kanopi düzeyinde klorofil içeriğinin tahmin edilmesi. **Coğrafya Dergisi**, 43: 77-91.
- Kassem, A.S., 1998. Comparative studies on thin layer drying models for wheat, 13 th *International Congress on Agricultural Engineering, vol 6, 2-6 February, Morocco.*
- Kaymak, A.M., Örnek, M.N., Kahramanlı, H., 2019. Görüntü işleme teknolojilerinin elma bahçelerine yönelik kullanım örneği. **Uluborlu Mesleki Bilimler Dergisi**, 2(1): 17-26.
- Keneni, Y.G., Hvoslef-Eide, A.T., Marchetti, J.M., 2019. Mathematical modelling of the drying kinetics of *Jatropha curcas* L. seeds. **Industrial Crops And Products**, 132: 12-20.
- Kesriklioğlu, E., Oktay, E., Karaaslan, A., 2023. Predicting total household energy expenditures using ensemble learning methods. **Energy**, 276: 127581.
- Khallaf, A.E.M., El-Sebaai, A., 2022. Review on drying of the medicinal plants (herbs) using solar energy applications. **Heat and Mass Transfer**, 58(8): 1411-1428.
- Khvorost, O.P., Leontiev, B.S., Fedchenkova, Y.A., Skrebtsova, K.S., 2022. The quantitative content determination of main groups of biologically active substances in batches of *Viburnum opulus* fruits. **Journal of Organic and Pharmaceutical Chemistry**, 20(1): 57-62.
- Kolaç, T., Gürbüz, P., Yetiş, G., 2017. Doğal ürünlerin fenolik içeriği ve antioksidan özellikleri. **İnönü Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu Dergisi**, 5(1): 26-42.
- Kovacı, T., Dikmen, E., 2018. Kurutma sistemleri, enerji tüketimleri ve ürün kalitesine etkileri ve örnek sistem tasarımı. **Teknik Bilimler Dergisi**, 8(2): 25-39.
- Kowalski, S.J., Mierzwa, D., Stasiak, M., 2017. Ultrasound-assisted convective drying of apples at different process conditions. **Drying Technology**, 35(8): 939-947.

- Köprüalan, Ö., Bodruk, A., Ertekin, F., 2019. Meyve ve sebzelerin patlatmalı puf kurutma yöntemi ile kurutulması. **Akademik Gıda**, **17**(1): 81-88.
- Kraujalytė, V., Venskutonis, P.R., Pukalskas, A., Česonienė, L., Daubaras, R., 2013. Antioxidant properties and polyphenolic compositions of fruits from different European cranberrybush (*Viburnum opulus* L.) genotypes. **Food Chemistry**, **141**(4): 3695-3702.
- Kumar, Y., Sharanagat, V.S., Singh, L., Nema, P.K., 2020. Convective drying of spine gourd (*Momordica dioica*): Effect of ultrasound pre-treatment on drying characteristics, color, and texture attributes. **Journal of Food Processing and Preservation**, **44**(9): e14639.
- Lewis, W.K., 1921. The rate of drying of solid materials. **Industrial Engineering Chemistry**, **13**: 427-432.
- Li, R., Shang, H., Wu, H., Wang, M., Duan, M., Yang, J., 2018. Thermal inactivation kinetics and effects of drying methods on the phenolic profile and antioxidant activities of chicory (*Cichorium intybus* L.) leaves. **Scientific Reports**, **8**(1): 9529.
- Li, Y.L., Liu, Y., Xu, J., Zhang, Y.P., Zhao, L.N., Miao, Y.Y., 2022. Artificial neural network techniques to predict the moisture ratio content during hot air drying and vacuum drying of *Radix isatidis* extract. **Traditional Medicine Research**, **7**(1): 5.
- Liapis, A.I., Bruttini, R., 2020. Freeze drying. In *Handbook of industrial drying* (pp. 309-343). CRC press.
- Liu, C., Grimi, N., Lebovka, N., Vorobiev, E., 2019. Convective air, microwave, and combined drying of potato pre-treated by pulsed electric fields. **Drying Technology**, **37**(13): 1704-1713.
- Liu, T., Chen, W., Wu, W., Sun, C., Guo, W., Zhu, X., 2016. Detection of aphids in wheat fields using a computer vision technique. **Biosystems Engineering** **141**: 82-93.
- Macedo, L.L., Corrêa, J.L.G., Araújo, C.D.S., Vimercati, W.C., Pio, L.A.S., 2021. Process optimization and ethanol use for obtaining white and red dragon fruit powder by foam mat drying. **Journal of Food Science**, **86**(2): 426-433.

- Mafokoane, A.M., 2019. Effect of time-based oven-drying on the nutritional quality of cowpea (*vigna unguiculata*) leaves. University of Limpopo, Faculty of Science and Agriculture, Master of Science, Africa, 62 p.
- Marques, L.G., Freire, J.T., 2005. Analysis of freeze-drying of tropical fruits. **Drying Technology**, **23**(9-11): 2169-2184.
- Martín-Gómez, J., Varo, M.Á., Mérida, J., Serratos, M.P., 2020. Influence of drying processes on anthocyanin profiles, total phenolic compounds and antioxidant activities of blueberry (*Vaccinium corymbosum*). **LWT**, **120**:108931.
- Maskan, M., 2001. Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. **Journal of Food Engineering**, **48**(2): 177-182.
- Mazur, M., Salejda, A. M., Pilarska, K. M., Krasnowska, G., Nawirska-Olszańska, A., Kolniak-Ostek, J., Bąbelewski, P., 2021. The Influence of *Viburnum opulus* fruits addition on some quality properties of homogenized meat products. **Applied Sciences**, **11**(7): 3141.
- Metiner, E.E. Ersus, S., 2023. Farklı kurutma tekniklerinin kuru Aronya (*Aronia melanocarpa*) meyvesi ve tozunun kalitesine etkisi. **Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi**, **60** (2): 353-362.
- Minatel, I.O., Borges, C.V., Ferreira, M.I., Gomez, H.A.G., Chen, C.Y.O., Lima, G.P.P., 2017. Phenolic compounds: Functional properties, impact of processing and bioavailability. **Phenolic Compd. Biol. Act**, **8**:1-24.
- Moate, P.J., Dougherty, L., Schnall, M.D., Landis, R.J., Boston, R.C., 2004. A modified logistic model to describe gadolinium kinetics in breast tumors. **Magnetic Resonance Imaging**, **22**(4): 467-473.
- Mohammadi, I., Tabatabaekoloor, R., Motevali, A., 2019. Effect of air recirculation and heat pump on mass transfer and energy parameters in drying of kiwifruit slices. **Energy**, **170**: 149-158.
- Mohapatra, D., Rao, P.S., 2005. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, **66**(4): 513-518.

- Mondal, M.H.T., Shiplu, K.S.P., Sen, K.P., Roy, J., Sarker, M.S.H., 2019. Performance evaluation of small scale energy efficient mixed flow dryer for drying of high moisture paddy. **Drying Technology**, **37**(12): 1541-1550.
- Moon, J.H., Pan, C.H., Yoon, W.B., 2015. Drying characteristics and thermal degradation kinetics of hardness, anthocyanin content and colour in purple- and red-fleshed potato (*solanum tuberosum* L.) during hot air drying. **International Journal of Food Science and Technology**, **50**: 1255-1267.
- Morad, M.M., El-Shazly, M.A., Wasfy, K.I., El-Maghawry, H.A., 2017. Thermal analysis and performance evaluation of a solar tunnel greenhouse dryer for drying peppermint plants. **Renewable Energy**, **101**: 992-1004.
- Motevali, A., Minaei, S., Banakar, A., Ghobadian, B., Darvishi, H., 2016. Energy analyses and drying kinetics of chamomile leaves in microwave-convective dryer. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, **15**(2), 179-187.
- Motevali, A., Minaei, S., Khoshtagaza, M.H., 2011. Evaluation of energy consumption in different drying methods. **Energy Conversion and Management**, **52**(2): 1192-1199.
- Mouhoubi, K., Boulekbache-Makhlouf, L., Mehaba, W., Himed-Idir, H., Madani, K., 2022. Convective and microwave drying of coriander leaves: Kinetics characteristics and modeling, phenolic contents, antioxidant activity, and principal component analysis. **Journal of Food Process Engineering**, **45**(1): e13932.
- Mustafa, I., Chin, N.L., 2023. Antioxidant properties of dried ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) var. Bentong. **Foods**, **12**(1): 178.
- Naderinezhad, S., Etesami, N., Najafabady, A.P., Falavarjani, M.G., 2016. Mathematical modeling of drying of potato slices in a forced convective dryer based on important parameters. **Food Science and Nutrition**, **4**(1): 110-118.
- Nurhaslina, C.R., Bacho, S.A., Mustapa, A.N., 2022. Review on drying methods for herbal plants. **Materials Today: Proceedings**, **63**: S122-S139.
- Onwude, D.I., Hashim, N., Abdan, K., Janius, R., Chen, G., Kumar, C., 2018. Modelling of coupled heat and mass transfer for combined infrared and hot-air drying of sweet potato. **Journal of Food Engineering**, **228**: 12-24.

- Özrenk, K., Gündoğdu, M., Keskin, N., Kaya, T., 2011. Erzincan Yöresinde Yetişen Gilaburuların (*Viburnum opulus* L.) Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri. **Journal of the Institute of Science and Technology**, 1(4): 9-14.
- Page, G., 1949. Factors Influencing the Maximum Rates of Air-Drying Shelled Corn in Thin Layer. Purdue University Department of Mechanical Engineering, West Lafayette, MSc Thesis, Indian.
- Parikh, D.M., 2015. Vacuum drying: basics and application. **Chemical Engineering**, 122(4): 48-54.
- Peleg, M., Normand, M.D., Dixon, W.R., Goulette, T.R., 2016. Modeling the degradation kinetics of ascorbic acid. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 58(9): 1-17.
- Perova, I.B., Zhogova, A.A., Cherkashin, A.V., Éller, K. I., Ramenskaya, G.V., Samylina, I.A., 2014. Biologically active substances from European guelder berry fruits. **Pharmaceutical Chemistry Journal**, 48: 332-339.
- Piedad, E., Jr., Larada, J.I., Pojas, G.J., Ferrer, L.V.V., 2018. Postharvest classification of banana (*Musa acuminata*) using tier-based machine learning. **Postharvest Biology and Technology**, 145: 93-100.
- Pinar, H., Çetin, N., Ciftci, B., Karaman, K., Kaplan, M., 2021. Biochemical composition, drying kinetics and chromatic parameters of red pepper as affected by cultivars and drying methods. **Journal of Food Composition and Analysis**, 102: 103976.
- Polat, M., Mertoğlu, K., Eskimez, İ., 2021. Physico-chemical characteristics of some gilaburu (*Viburnum Opulus* L.) genotypes. **International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences**, 5(1): 51-55.
- Polatçı, H., Taşova, M., Saraçoğlu, O., 2020. Armut (*Pirus communis* L.) posasının bazı kalite değerleri açısından uygun kurutma sıcaklığının belirlenmesi. **Academic Platform-Journal of Engineering and Science**, 8(3): 540-546.
- Polatoğlu, B., Beşe, A.V., 2017. Convective drying of cornelian cherry fruits (*Cornus mas* L.): drying kinetics and degradation of vitamin C. **Journal of Engineering Sciences of Omer Halisdemir University**, 6(2): 406-414.

- Polka, D., Podśędek, A., Koziółkiewicz, M., 2019. Comparison of chemical composition and antioxidant capacity of fruit, flower and bark of *Viburnum opulus*. **Plant Foods for Human Nutrition**, **74**: 436-442.
- Ratti, C., 2001. Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. **Journal of Food Engineering**, **49**(4): 311-319.
- Ray, A., Mohanty, S., Jena, S., Sahoo, A., Acharya, L., Panda, P.C., Sial, P., Duraisamy, P., Nayak, S., 2022. Drying methods affects physicochemical characteristics, essential oil yield and volatile composition of turmeric (*Curcuma longa* L.). **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants**, **26**: 100357.
- Richardson, C., Roberts, E., Nelms, S., Roberts, N.B., 2012. Optimisation of whole blood and plasma manganese assay by ICP-MS without use of a collision cell. **Clinical Chemistry and Laboratory Medicine**, **50**(2): 317-323.
- Rop, O., Reznicek, V., Valsikova, M., Jurikova, T., Mlcek, J., Kramarova, D., 2010. Antioxidant properties of European cranberrybush fruit (*Viburnum opulus* var. *edule*). **Molecules**, **15**(6): 4467-4477.
- Ropelewska, E., Çetin, N., Günaydın, S., 2023d. Non-destructive discrimination of vacuum-dried banana using image processing operation and machine learning approach. **Food and Bioproducts Processing**, **141**: 36-48.
- Ropelewska, E., Kruczyńska, D.E., Rady, A.M., Rutkowski, K.P., Konopacka, D., Celejewska, K., Mieszczakowska-Frąć, M., 2023a. Evaluating the classification of freeze-dried slices and cubes of red-fleshed apple genotypes using image textures, color parameters, and machine learning. **Agriculture**, **13**(3): 562.
- Ropelewska, E., Rady, A.M., Watson, N.J., 2023c. Apricot stone classification using image analysis and machine learning. **Sustainability**, **15**: 9259.
- Ropelewska, E., Sabanci, K., Aslan, M.F., 2023b. The use of digital color imaging and machine learning for the evaluation of the effects of shade drying and open-air sun drying on mint leaf quality. **Applied Sciences**, **13**: 206.
- Ropelewska, E., Szwejda-Grzybowska, J.A., 2021. comparative analysis of the discrimination of pepper (*Capsicum annuum* L.) based on the cross-section and

- seed textures determined using image processing. **Journal of Food Process Engineering**, **44**: e13694.
- Ropelewska, E., Szwejda-Grzybowska, J., 2021. A comparative analysis of the discrimination of pepper (*Capsicum annuum* L.) based on the cross-section and seed textures determined using image processing. **Journal of Food Process Engineering**, **44**(6), e13694.
- Sabancı, K., Aydın, C., Ünlerşen, M.F., 2012. Görüntü işleme ve yapay sinir ağları yardımıyla patates sınıflandırma parametrelerinin belirlenmesi. **Journal of the Institute of Science and Technology**, **2**(2 Sp: A): 59-62.
- Sabancı, K., Ünlerşen, M. F., Dilay, Y., 2016. Karaman yöresinde yetiştirilen elma çeşitlerinin sınıflandırma parametrelerini görüntü işleme teknikleri kullanarak belirlenmesi. **Tarım Makinaları Bilimi Dergisi**, **12**(2): 133-139.
- Sağlam, Ö.Ç., Sağlam, H., Emre, M., 2021. Üzümde bulunan fitokimyasallar ve insan sağlığı üzerine etkileri. **Uluslararası Anadolu Ziraat Mühendisliği Bilimleri Dergisi**, **3**(3): 78-86.
- Salve, R.V., Syed, H.M., More, S.G., Shinde, E.M., 2020. Effect of different drying treatment on composition, nutritional and phytochemical content of curry leaves. **The Pharma Innovation Journal**, **9**(7): 568-573.
- Samilyk, M., Korniienko, D., Demidova, E., Tymoshenko, A., Bolgova, N., Yeskova, O., 2022. Substantiation of the efficiency of the method for processing viburnum by the method of osmotic dehydration. **EUREKA: Life Sciences**, **6**: 60-68.
- Samoticha, J., Wojdyło, A., Lech, K., 2016. The influence of different the drying methods on chemical composition and antioxidant activity in chokeberries. **LWT-Food Science and Technology**, **66**, 484-489.
- Saraçoğlu, T., Özarslan, C., Kılıç, S.N., 2023. Kurutulmuş Trabzon hurması meyvesinin bazı fiziko-mekanik özelliklerinin belirlenmesi. **Tarım Makinaları Bilimi Dergisi**, **19**(1): 1-14.
- Savaşlı, E., Önder, O., Cekic, C., Kalaycı, H.M., Dayıoğlu, R., Karaduman, Y., ... Gezgin, S., 2021. Orta Anadolu kuru şartlarında ekmeklik buğdayda optik sensöre dayalı

mevsim içi azotlu gübre kalibrasyon optimizasyonu. **Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi**, **24**(1): 130-140.

Scalzo, R.L., Iannoccari, T., Summa, C., Morelli, R., Rapisarda, P., 2004. Effect of thermal treatments on antioxidant and antiradical activity of blood orange juice. **Food Chemistry**, **85**: 41-47.

Senadeera, W., Adiletta, G., Önal, B., Di Matteo, M., Russo, P., 2020. Influence of different hot air drying temperatures on drying kinetics, shrinkage, and colour of persimmon slices. **Foods**, **9**(1): 101.

Seymen, S., 2019. Balkabağından (Cucurbita moschata) Üretilen Reçel, Marmelat ve Pestilin Kalite Özelliklerinin İncelenmesi. Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa, 65 s.

Shin, D. J., Choe, J., Hwang, K. E., Kim, C. J., Jo, C., 2019. Antioxidant effects of lotus (Nelumbo nucifera) root and leaf extracts and their application on pork patties as inhibitors of lipid oxidation, alone and in combination. **International Journal of Food Properties**, **22**(1): 383-394.

Shree, S.G., 2022. Comparative study of drying characteristics of amla fruit using open sun drying and solar drying method. **International Journal of Research Publication and Reviews**, **3**(7): 3805-3810.

Singh, G.D., Sharma, R., Bawa, A.S., Saxena, D.C., 2008. Drying and rehydration characteristics of water chestnut (Trapa natans) as a function of drying air temperature. **Journal of Food Engineering**, **87**(2): 213-221.

Singh, V., Misra, A.K., 2017. Detection of plant leaf diseases using image segmentation and soft computing techniques. **Information Processing in Agriculture** **4**(2017): 41-49.

Singleton, V.L., Rossi, J.A., 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American journal of Enology and Viticulture**, **16**(3): 144-158.

Skrypnik, L.N., Kislyakova, L.A., Maslennikov, P.V., Feduraev, P.V., 2021. Accumulation of phenolic antioxidants in flowers and fruits of guelder rose

- (*Viburnum opulus* L.) depending on site conditions, pp. 042042. *Conference Series: Earth And Environmental Science*, March, 2021.
- Solak, S., Altınışik, U., 2018. Görüntü işleme teknikleri ve kümeleme yöntemleri kullanılarak fındık meyvesinin tespit ve sınıflandırılması. **Sakarya University Journal of Science**, **22**(1): 56-65.
- Soysal, Y., 2004. Microwave drying characteristics of parsley. **Biosystems Engineering**, **89**(2): 167-173.
- Soysal, Y., Öztekin, S., Eren, Ö., 2006. Microwave drying of parsley: modelling, kinetics, and energy aspects. **Biosystems Engineering**, **93**(4): 403-413.
- Stegmayer, G., Milone, D.H., Garran, S., Burdyn, L., 2013. Automatic recognition of quarantine citrus diseases. **Expert Syst Appl** **40**(9): 3512–3517
- Stuper-Szablewska, K., Szablewski, T., Przybylska-Balcerek, A., Szwajkowska-Michałek, L., Krzyżaniak, M., Świerk, D., Cegielska-Radziejewska, R., Krejpcio, Z., 2023. Antimicrobial activities evaluation and phytochemical screening of some selected plant materials used in traditional medicine. **Molecules**. **28**(1): 244.
- Suna, S., 2019. Effects of hot air, microwave and vacuum drying on drying characteristics and in vitro bioaccessibility of medlar fruit leather (pestil). **Food Science and Biotechnology**, **28**(5): 1465-1474.
- Suna, S., Özkan-Karabacak, A., 2019. Investigation of drying kinetics and physicochemical properties of mulberry leather (pestil) dried with different methods. **Journal of Food Processing and Preservation**, **43**(8): e14051.
- Tabaszewska, M., Najgebauer-Lejko, D., Zbylut-Górska, M., Skoczylas, Ł., Tokarczyk, G., 2023. Effect of hawthorn berry pre-treatment and preservation methods on the extractability of color-determining compounds and selected antioxidative substances. **LWT**, **173**: 114297.
- Talay, R., 2019. Goji Berry Pestili Üretiminde Farklı Formülasyon ve Pişirme Süresinin Ürünün Kalite Parametreleri Üzerine Etkisi. Bayburt Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bayburt, 105 s.

- Taskin, O., Izli, N., Izli, G., 2019. Rehydration, pH, brix, titrable acidity and color variations of infrared and microwave dried European Cranberrybush. **Original Contrib**, **23**(4): 176-180.
- Taşkın, B., Yıldız, H., 2012. Ohmik ısıtmanın gıdalardaki enzimler ve c vitamini üzerine etkisi. **Akademik Gıda**, **10**(3): 63-69.
- Taşkın, O., Aşık, B.B., İzli, N., 2019. Gilaburu bitkisinin (*viburnum opulus* l.) meyve, sap ve yaprağının mineral içeriği. **Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi**, **22**(2): 178-182.
- Taşkın, O., Aşık, B.B., Nazmi, İ., 2019. Gilaburu bitkisinin (*viburnum opulus* l.) meyve, sap ve yaprağının mineral içeriği. **Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi**, **22**(2): 178-182.
- Taşkın, O., Gökçen, İ., Nazmi, İ., 2018. Convective drying kinetics and quality parameters of european cranberrybush. **Journal of Agricultural Sciences**, **24**(3): 349-358.
- Taşova, M., Ergüneş, G., Gerçekcioğlu, R., Karagül, Ş. 2019. Konvektif ve mikrodalga yöntemlerle kurutulan kuşburnu (*Rosa montana Chaixsubsp. woronovii* (Lonacz) Ö. Nilsson) meyvelerinde kalite değişimleri. **Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi**, **34**(2019): 1308-8769.
- Taşova, M., Güzel, M., 2020. Kurutma sıcaklıklarının mantarın (*agaricus bisporus* l.) rehidrasyon, model, kuruma performansı ve yüzey alanı değerlerine etkisi. **Turkish Journal of Agricultural Engineering Research (TURKAGER)**, **1**(1): 74-84.
- Tekin Cakmak, Z.H., Kayacan Cakmakoglu, S., Avcı, E., Sagdic, O., Karasu, S., 2021. Ultrasound-assisted vacuum drying as alternative drying method to increase drying rate and bioactive compounds retention of raspberry. **Journal of Food Processing and Preservation**, **45**(12): e16044.
- Tepe, T.K., 2023. Kavun ve Karpuz Cipsi Üretiminde Farklı Kurutma Yöntemleri ve Ön İşlemlerin Bazı Kuruma ve Kalite Parametreleri Üzerine Etkisi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Denizli, 190 s.

- Tepić Horecki, A., Vakula, A., Pavlić, B., Jokanović, M., Malbaša, R., Vitas, J., ... Šumić, Z., 2018. Comparative drying of cornelian cherries: Kinetics modeling and physico-chemical properties. **Journal of Food Processing and Preservation**, **42**(3), e13562.
- Tunca, E., Köksal, E.S., Çetin, S., Ekiz, N.M., Çoban, U., Balde, H., 2018. Ayçiçeği spektral özelliklerinin yetiştirme dönemi boyunca değişiminin değerlendirilmesi. **Ziraat Fakültesi Dergisi**, 102-108.
- Turgut, D.Y., Topuz, A., 2019. Kamkatın (*Fortunella* spp.) biyoaktif bileşenleri ve biyolojik aktiviteleri. **Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology**, **7**(10): 1581-1588.
- Turkmen, N., Sari, F., Velioglu, Y.S., 2005. The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. **Food Chemistry**, **93**: 713-718.
- Uğur, E., Sari, F., 2022. Farklı sıcaklıklarda kurutulmuş madımak bitkisinin (*Polygonum cognatum* Meisn.) kuruma hızının ve bazı kalite parametrelerinin belirlenmesi. **Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi**, **22**(5): 1051-1060.
- Vadivambal, R., Jayas, D.S., 2011. Applications of thermal imaging in agriculture and food industry-a review. **Food and bioprocess technology**, **4**: 186-199.
- Vakula, A., Pavlić, B., Pezo, L., Tepić Horecki, A., Daničić, T., Raičević, L., Ljubojević, M., Šumić, Z., 2020. Vacuum drying of sweet cherry: Artificial neural networks approach in process optimization. **Journal of Food Processing and Preservation**, **44**(11): e14863.
- Varol, İ.S., Çetin, N., Kırnak, H., 2022. Evaluation of image processing technique on quality properties of chickpea seeds (*Cicer arietinum* L.) using machine learning algorithms. **Journal of Agricultural Sciences**, **29**(2): 427-442.
- Vega-Gálvez, A., Zura-Bravo, L., Lemus-Mondaca, R., Martinez-Monzó, J., Quispe-Fuentes, I., Puente, L., Di Scala, K., 2015. Influence of drying temperature on dietary fibre, rehydration properties, texture and microstructure of Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). **Journal of Food Science and Technology**, **52**: 2304-2311.

- Verma, L.R., Bucklin, R.A., Endan, J.B., Wratten, F.T., 1985. Effects of drying air parameters on rice drying models. **Transactions of the ASEA**, **28**: 296-301
- Yanardağ Karabulut, Ş., Kaynarca, G.B., 2024. Gilaburu (*Viburnum opulus* L.) meyvesi: Önemi, bileşimi ve gıda endüstrisinde kullanım potansiyeli. **Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, **13**(3): 1047-1055.
- Wang, Y., Tan, S., Jia, X., Qi, L., Liu, S., Lu, H., Wang, C., Liu, W., Zhao, X., He, L., et al., 2023. Estimating relative chlorophyll content in rice leaves using unmanned aerial vehicle multi-spectral images and spectral-textural analysis. **Agronomy**, **13**: 1541.
- Watharkar, R.B., Chakraborty, S., Srivastav, P.P., Srivastava, B., 2021. Foaming and foam mat drying characteristics of ripe banana [*Musa balbisiana* (BB)] pulp. **Journal of Food Process Engineering**, **44**(8): e13726.
- Wettasinghe, M., Bolling, B., Plhak, L., Xiao, H., Parkin, K., 2002. Phase II enzyme-inducing and antioxidant activities of beetroot (*Beta vulgaris* L.) extracts from phenotypes of different pigmentation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, **50**(23), 6704-6709.
- Xu, W., Song, C., Li, Z., Song, F., Hu, S., Li, J., Zhu, G., Raghavan, G.V., 2018. Temperature gradient control during microwave combined with hot air drying. **Biosystems Engineering**, **169**: 175-187.
- Yağcıoğlu, A. 1999. Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği. EÜZF Yayınlar, No: 536.
- Yalçın, I., Mücahit, Ü., Kayabaşı, A., 2022. Bilgisayarlı görü teknikleri kullanılarak yapay zekâ temelli limon ağacı rekolte tahmini. **Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi**, **4**(1): 80-88.
- Yang, B., Ahotupa, M., Määtä, P., Kallio, H., 2011. Composition and antioxidative activities of supercritical CO₂-extracted oils from seeds and soft parts of northern berries. **Food Research International**, **44**(7): 2009-2017.
- Yıldız, R., Ekici, H., 2019. Gilaburu (*Viburnum opulus* L.)'nun farmakolojik açıdan değerlendirilmesi. **Veteriner Farmakoloji ve Toksikoloji Derneği Bülteni**, **10**(1): 16-23.

- Yıldız, R., Ekici, H., 2019. Gilaburu (*Viburnum opulus* L.)'nun farmakolojik açıdan değerlendirilmesi. **Veteriner Farmakoloji ve Toksikoloji Derneği Bülteni**, **10**(1): 16-23.
- Yu, Y., Lv, Y., 2019. Degradation kinetic of anthocyanins from rose (*Rosa rugosa*) as prepared by microencapsulation in freeze-drying and spray-drying. **International Journal of Food Properties**, **22**(1): 2009-2021.
- Yuan, J.F., Lai, Y.T., Chen, Z.Y., Song, H.X., Zhang, J., Wang, D.H., Gong, M.G., Sun, J.R., 2022. Microwave irradiation: effects on the change of colour characteristics and main phenolic compounds of cabernet gersicht dry red wine during storage. **Foods**, **11**(12): 1778.
- Yue, Y., Zhang, Q., Wan, F., Ma, G., Zang, Z., Xu, Y., Jiang, C., Huang, X., 2023. Effects of different drying methods on the drying characteristics and quality of codonopsis pilosulae slices. **Foods**, **12**: 1323.
- Yunusova, S.G., Karimova, A.R., Tsyrlina, E.M., Yunusova, M.S., Denisenko, O.N., 2004. Change on storage of biological activity of *Viburnum opulus* seed components. **Chemistry of Natural Compounds**, **40**(5): 423-426.
- Yurteri, A., Kuplemmez, R., Bahram, A.K., 2021. Phenolic content and antioxidant activity in different plant parts of *Viburnum opulus* at different altitudes. **New Development on Medicinal and Aromatic Plants**, 265-285.
- Zahoor, I., Khan, M.A., 2019. Microwave assisted convective drying of bitter gourd: drying kinetics and effect on ascorbic acid, total phenolics and antioxidant activity. **Journal of Food Measurement and Characterization**, **13**: 2481-2490.
- Zakłós-Szyda, M., Kowalska-Baron, A., Pietrzyk, N., Drzazga, A., Podsędek, A., 2020. Evaluation of *Viburnum opulus* L. fruit phenolics cytoprotective potential on insulinoma min6 cells relevant for diabetes mellitus and obesity. **Antioxidants**, **9**(5): 433.
- Zarifikhosroshahi, M., 2015. Gilaburu (*Viburnum opulus* L.) Meyvelerinde Biyoaktif, Biyokimyasal ve Besin Element İçeriklerinin Belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 160 s.

- Zarifikhosroshahi, M., Kafkas, E., 2018. Gilaburu (*Viburnum opulus* L.) meyvelerinde biyoaktif, biyokimyasal ve besin element içeriklerinin belirlenmesi. **Çukurova Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi**, **35**(5): 41-51.
- Zayachkivska, O.S., Gzhegotsky, M.R., Terletska, O.I., Lutsyk, D.A., Yaschenko, A.M., Dzhura, O.R., 2006. Influence of *Viburnum opulus* proanthocyanidins on stress-induced gastrointestinal mucosal damage. **Journal of Physiology and Pharmacology**, **5**:155-67.
- Zhang, D., Huang, D., Zhang, X., Zhao, H., Gong, G., Tang, X., Li, L., 2023. Drying performance and energy consumption of *Camellia oleifera* seeds under microwave-vacuum drying. **Food Ccience and Biotechnology**, **32**(7): 969-977.
- Zhang, D., Huang, D., Zhang, Y., Lu, Y., Huang, S., Gong, G., Li, L., 2023. Ultrasonic assisted far infrared drying characteristics and energy consumption of ginger slices. **Ultrasonics Sonochemistry**, **92**: 106287.
- Zhang, W., Jiang, W., 2019. UV treatment improved the quality of postharvest fruits and vegetables by inducing resistance. **Trends in Food Science & Technology**, **92**: 71-80.
- Zhu, L., Li, M., Yang, W., Zhang, J., Yang, X., Zhang, Q., Wang, H., 2023. Effects of different drying methods on drying characteristics and quality of *Glycyrrhiza uralensis* (Licorice). **Foods**, **12**: 1652.
- Zhu, Y., Wang, P., Sun, D., Qu, Z., Yu, B., 2021. Multiphase porous media model with thermo-hydro and mechanical bidirectional coupling for food convective drying. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, **175**: 121356.
- Zia, M.P., 2019. Drying of Blueberry (*Vaccinium* Spp.) and Cornelian Cherry (*Cornus Mas* L.) Using Different Methods and Determination of Bactericidal Effect of the Dried Product on *E.Coli* (*Escherichia Coli*) Under in Vitro Conditions. Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa, 81 s.
- Zielinska, M., Ropelewska, E., Xiao, H.W., Mujumdar, A.S., Law, C.L., 2020. Review of recent applications and research progress in hybrid and combined microwave-assisted drying of food products: Quality properties. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, **60**(13): 2212-2264.

Zöngür, A., 2022. Sivas, Kayseri ve Yozgat 'da Yetişen Viburnum opulus yağ asidi içeriklerinin belirlenmesi. **Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology**, 10(11): 2151-2155.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Seda GÜNAYDIN
Uyruğu: Türkiye (T.C)
Doğum Tarihi ve Yeri:
Medeni Durum:
e-mail:

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Doktora	Erciyes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği	2024
Yüksek Lisans	Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği	2020
Lisans	Bozok Üniversitesi, Biyosistem Mühendisliği	2018
Lise	Şöhrettin Duygu Anadolu Lisesi, Yozgat	2014

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR

- Günaydın, S., Ropelewska, E., Sacilik, K., Çetin, N., 2024. Exploration of machine learning models based on the image texture of dried carrot slices for classification. **Journal of Food Composition and Analysis**, **129**: 106063.
- Günaydın, S., Çetin, N., Sağlam, C., Karaman, K., 2024. Change of bioactive properties, spectral reflectance, and color characteristics of European cranberry (*Viburnum opulus* L.) juice as affected by foam mat drying technique. **Scientific Reports**, **14**(1): 22974.
- Gunaydin, S., Alibas, I., 2023. The influence of short, medium, and long duration common dehydration methods on total protein, nutrients, vitamins, and carotenoids of rosehip fruit (*Rosa canina* L.). **Journal of Food Composition and Analysis**, **105631**.

4. Çetin, N., Ropelewska, E., Noutfia, Y., Günaydın, S., 2024. Recognition performance of different artificial neural networks for distinguishing banana slices subjected to different combinations of pretreatment and microwave drying. **Food Control**, **163**: 110488.
5. Ropelewska, E., Çetin, N., Günaydın, S., 2023. Non-destructive discrimination of vacuum-dried banana using image processing operation and machine learning approach. **Food and Bioproducts Processing**, **141**: 36-48.
6. Çetin, N., Günaydın, S., Karaman, K., Sağlam, C., 2022. Effect of pre-treatments assisted microwave drying on kinetics and energy aspects of dragon fruit. **Current Trends in Natural Sciences** **11**(21): 79-87.
7. Çetin, N., Ropelewska, E., Fidan, S., Ülkücü, Ş., Saban, P., Günaydın, S., Ünlükara, A. (2023). Binary classification of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) seeds based on quality features using machine learning algorithms. **European Food Research and Technology**, **1-15**.
8. Günaydın, S., Sağlam, C., Çetin, N., 2022. Tarımsal ürünlerin kurutulmasında kullanılan kurutma yöntemleri. **Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi**, **5** (1): 30-45.
9. Alibaş, İ., Yılmaz, A., Günaydın, S., Arkain, B., 2021. Influence of drying methods on drying kinetics and color parameters. **Turkish Journal of Agriculture: Food Science and Technology**, **9**(5): 897-908.
10. Kaplan, S., Ropelewska, E., Günaydın, S., Sabancı, K., Çetin, N., 2024. Machine learning and computer vision technology to analyze and discriminate soil samples. **Scientific Reports**, **14**(1), 19945.
11. Günaydın, S., Çetin, N., Sağlam, C., 2023. Kurutmada termal ve termal olmayan ön işlem uygulamaları. **Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi**, **37**(2), 499-518.

1. Kaplan, M., Çetin, N., Günaydın, S., 2023. Effect of different drying temperatures on CO₂ emissions in acorn drying, ss. 42-112. *15th International Congress on Agricultural Mechanization and Energy in Agriculture – ANKAEng'2023*” 29 Ekim-1 Kasım, Antalya, Türkiye.
2. Sağlam, C., Çetin, N., Günaydın, S., 2022. “Tarımsal Mekanizasyonun Durumu ve Sorunları”, Farklı Yaklaşımlarla Tarıma Yeniden Bakış, 3, 243-261, Orient Yayınları, Ankara.

HAKEMLİ KONGRE / SEMPOZYUM BİLDİRİ KİTAPLARINDA YER ALAN YAYINLAR

1. Çetin N., Günaydın S., 2022. The effect of gradually increasing microwave power on the drying kinetics, color parameters and energy aspects of carrots, ss.97-102. *6th International Conference On Engineering Technologies (ICENTE 2022)*, 17-19 Kasım 2022, Konya, Türkiye.
2. Günaydın, S., Çetin, N, 2024. Influence of freeze, vacuum and convective drying methods on CO₂ emissions in european cranberry bush (*Viburnum opulus* L.), ss. 332. *7.Uluslararası Tarım, Çevre ve Sağlık Kongresi, 30 Mayıs-1 Haziran, Bursa, Turkey*,
3. Günaydın, S., Çetin, N, 2024. Vakumlu kurutma tekniği ile kurutulmuş ejder meyvesi dilimlerine uygulanan farklı ön işlem uygulamalarının CO₂ emisyonu üzerine etkisi, ss. 11. 35. *Ulusal Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Kongresi, 04-06 Eylül 2024, Kırşehir, Türkiye*.